

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Marko Topić

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Igor Balen, dipl. ing.

Student:

Marko Topić

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svome mentoru prof.dr.sc. Igoru Balenu na pomoći i susretljivosti prilikom izrade ovog rada. Također, zahvalio bih svojoj obitelji na podršci tijekom studija.

Marko Topić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur. broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Marko Topić**

Mat. br.: 0035181969

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projekt sustava grijanja, hlađenja i ventilacije uredske zgrade**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of heating, cooling and ventilation system for office building**

Opis zadatka:

U ovom radu, potrebno je projektirati sustav grijanja, hlađenja i ventilacije za uredsku zgradu ukupne korisne površine 2057 m², prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Uredska zgrada ima četiri etaže (Pr+1K+2K+3K). Najprije je potrebno usporediti tri varijante rješenja s različitim izvorima topline: kotlom na prirodni plin, kotlom na biomasu i dizalicom topline tlo-voda te odabrati optimalno tehničko rješenje na temelju usporedbe investicijskih i pogonskih troškova. Sustav grijanja predvidjeti s temperaturnim režimom 50/40 °C, a sustav hlađenja predvidjeti s temperaturnim režimom 7/12 °C. Predvidjeti sustav prisilne ventilacije zgrade s povratom toplinske energije iz istrošenog zraka. Pripremu potrošne tople vode (PTV) predvidjeti u izvedbi akumulacijskog sustava sa solarnim kolektorima. Odabrano rješenje sustava potrebno je razraditi na razini glavnog projekta. Zgrada se nalazi na području grada Zagreba.

Na raspolaganju su energetske izvori:

- elektro-priključak 230/400V; 50Hz,
- niskotlačni plinski priključak,
- vodovodni priključak tlaka 5 bar.

Rad treba sadržavati:

- toplinsku bilancu zgrade za zimu i za ljeto,
- toplinsku i količinsku bilancu razvoda vode odabranog sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV,
- toplinsku i količinsku bilancu razvoda zraka sustava ventilacije,
- hidraulički proračun cijevne mreže ogrjevnog i rashladnog medija te kanalnog razvoda zraka,
- tehničke proračune koji definiraju izbor opreme,
- tehnički opis funkcije odabranog sustava,
- funkcionalnu shemu spajanja i shemu regulacije,
- crteže kojima se definira raspored i montaža opreme.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

28. rujna 2017.

30. studenog 2017.

6., 7. i 8. prosinca 2017.

Zadatak zadao:

Predsjednica Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Igor Balen


Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. Uvod	1
2. Opis zgrade	2
3. Projektni toplinski gubici.....	4
3.1. Ulazne veličine.....	4
3.2. Rezultati proračuna	5
4. Projektno toplinsko opterećenje zgrade.....	9
4.1. Rezultati proračuna	9
5. Potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje	14
5.1. Ulazne veličine.....	14
5.2. Rezultati proračuna	15
6. Potrošna topla voda.....	16
6.1. Ulazne veličine.....	16
6.2. Rezultati proračuna	16
7. Odabir optimalnog rješenja sustava grijanja.....	17
7.1. Ulazni parametri.....	17
7.2. Usporedba sustava grijanja	19
8. Sustav ventilacije.....	23
8.1. Ventilacijski zahtjevi.....	23
8.2. Dimenzioniranje klimatizacijske jedinice	24
8.2.1. Termodinamički proračun sustava ventilacije – Zima.....	25
8.2.2. Termodinamički proračun sustava ventilacije - Ljeto.....	28
8.2.3. Prikaz procesa u h-x dijagramu za zimu i ljeto.....	30
8.3. Odabir istrujnih otvora	31
8.4. Odabir regulatora varijabilnog protoka.....	32
8.5. Odsisna ventilacija sanitarnih prostorija	33
8.6. Dimenzioniranje ventilacijskih kanala.....	34
9. Dimenzioniranje sustava grijanja, hlađenja te pripreme potrošne tople vode.....	36
9.1. Odabir kotla.....	36
9.2. Odabir rashladnika vode	38
9.3. Odabir ventilokonvektora	40

9.4. Odabir solarnih kolektora te spremnika PTV-a	41
9.5. Pad tlakova cjevovoda i odabir cirkulacijskih pumpi	42
9.5.1. Krug grijanja	42
9.5.1.1. Krug između kotla i „buffera“	42
9.5.1.2. Krug između „buffera“ i izmjenjivača topline spremnika PTV-a	43
9.5.1.3. Ventilokonvektori	44
9.5.1.4. Pad tlaka grijača klimatizacijske jedinice (kritična dionica)	45
9.5.2. Krug hlađenja	46
9.5.2.1. Ventilokonvektori	46
9.5.2.2. Hladnjak klimatizacijske jedinice	47
9.5.3. Krug solarnih kolektora	48
9.6. Odabir ekspanzijskih posuda	51
9.6.1. Krug grijanja	51
9.6.2. Krug hlađenja	52
9.6.3. Krug solarnih kolektora	52
10. Tehnički opis	53
10.1. Sustav grijanja	53
10.2. Sustav hlađenja	54
10.3. Sustav ventilacije	54
10.4. Sustav pripreme potrošne tople vode	55
11. Zaključak	57
LITERATURA	59
PRILOZI	61

POPIS SLIKA

Slika 1.	Prikaz lokacije i orijentacije poslovne zgrade	2
Slika 2.	Potrebna godišnja energija za grijanje i hlađenje	15
Slika 3.	Usporedba sustava prema dovedenoj toplinskoj energiji u sustav proizvodnje	19
Slika 4.	Usporedba sustava prema isporučenoj energiji	20
Slika 5.	Usporedba sustava prema primarnoj energiji energenata sustava	20
Slika 6.	Usporedba godišnjih pogonskih troškova	21
Slika 7.	Usporedba cijena investicije sustava grijanja	21
Slika 8.	Prikaz ukupnih troškova sustava grijanja u vremenskom periodu od 20 godina ..	22
Slika 9.	Odabrana klimatizacijska jedinica - tip Danvent DV40	24
Slika 10.	Prikaz procesa pripreme zraka za ventilaciju – Zima/Ljeto	30
Slika 11.	DEV difuzor zraka [15]	31
Slika 12.	OAB ventilacijska rešetka (lijevo) i ZOV zračni ventil (desno) [15]	31
Slika 13.	Regulator varijabilnog protoka - tip RVP-C [15]	32
Slika 14.	ZPC nepovratna zaklopka (lijevo) i RK kanalski ventilator (desno) [15]	33
Slika 15.	Prikaz kotla Hoval Biolyt 160 [11]	36
Slika 16.	„Buffer“ spremnik sustava grijanja – tip LCA P 3000 [16]	37
Slika 17.	Prikaz rashladnika vode modela YLCA [10]	38
Slika 18.	Ventilokonvektor - tip Divio [17]	40
Slika 19.	Solarni kolektor auroTHERM VFK 145 V [14] (lijevo) i spremnik PTV-a LCA 2CO 1500 hh [16] (desno)	41
Slika 20.	Dijagram radne točke pumpe UPS 32-55 180	42
Slika 21.	Dijagram radne točke pumpe UPS 25-60 180	43
Slika 22.	Dijagram radne točke pumpe MAGNA3 50-60F	45
Slika 23.	Dijagram radne točke pumpe MAGNA1 24-40	46
Slika 24.	Dijagram radne točke pumpe MAGNA3 65-60F	47
Slika 25.	Dijagram radne točke pumpe MAGNA3 25-40	48
Slika 26.	Pad tlaka cjevovoda solarnog kruga [13]	48
Slika 27.	Pad tlaka na kolektorima [13]	49
Slika 28.	Dijagram radne točke pumpe ALPHA SOLAR 15-75 130	50
Slika 29.	Preporučeni volumeni ekspanzijskih posuda za solarni kolektor VFK 145 V [13]	52

POPIS TABLICA

Tablica 1. Građevni elementi ovojnice zgrade i njihovi koeficijenti prolaza topline	3
Tablica 2. Ulazni podaci za proračun	4
Tablica 3. Rezultati proračuna za prizemlje	5
Tablica 4. Rezultati proračuna za prvi kat	6
Tablica 5. Rezultati proračuna za drugi kat	7
Tablica 6. Rezultati proračuna za treći kat	8
Tablica 7. Ukupni toplinski gubici zgrade	8
Tablica 8. Ulazni podaci proračuna	9
Tablica 9. Rezultati proračuna za prizemlje	10
Tablica 10. Rezultati proračuna za prvi kat	11
Tablica 11. Rezultati proračuna za drugi kat	12
Tablica 12. Rezultati proračuna za treći kat	13
Tablica 13. Ukupno toplinsko opterećenje zgrade	13
Tablica 14. Ulazni podaci proračuna	14
Tablica 15. Godišnja potrebna energija za grijanje i hlađenje zgrade	15
Tablica 16. Potrebna količina i godišnja energija za zagrijavanje PTV-a	16
Tablica 17. Usporedba dobivene i dodatna potrebna toplinska energija za zagrijavanje PTV-a	16
Tablica 18. Ulazni parametri proračuna isporučene i primarne energije sustava grijanja	18
Tablica 19. Usporedba sustava proizvodnje toplinske energije	19
Tablica 20. Potrebna količina vanjskog zraka za prostore u kojima ljudi borave	23
Tablica 21. Protočna količina odsisnog zraka za prostore sanitarija	24
Tablica 22. Kritična dionica dobavnog zraka	34
Tablica 23. Kritična dionica odsisnog zraka	34
Tablica 24. Tehničke karakteristike ventilatora klimatizacijske jedinice Danvent DV40	35
Tablica 25. Pad tlaka dionice otpadnog zraka iz prizemlja	35
Tablica 26. Tehničke karakteristike ventilatora RK 125	35
Tablica 27. Tehničke karakteristike Divio ventilokonvektora za grijanje [17]	40
Tablica 28. Tehničke karakteristike Divio ventilokonvektora za hlađenje [17]	40
Tablica 29. Tehničke karakteristike solarnog kolektora auroTHERM VFK 145 V [14]	41
Tablica 30. Pad tlaka kruga kotla prema „buffer“ spremniku	42
Tablica 31. Tehničke karakteristike pumpe UPS 32-55 180	42
Tablica 32. Pad tlaka kruga između „buffer“ spremnika i spremnika PTV-a	43
Tablica 33. Tehničke karakteristike pumpe UPS 25-60 180	43
Tablica 34. Pad tlaka kritične dionice kruga grijanja ventilokonvektora	44
Tablica 35. Tehničke karakteristike pumpe MAGNA3 50-60F	44
Tablica 36. Pad tlaka kruga grijača klimatizacijske jedinice	45
Tablica 37. Tehničke karakteristike pumpe MAGNA1 25-40	45
Tablica 38. Pad tlaka kritične dionice kruga hlađenja ventilokonvektora	46
Tablica 39. Tehničke karakteristike pumpe MAGNA3 65-60F	47
Tablica 40. Pad tlaka kruga hladnjaka klimatizacijske jedinice	47
Tablica 41. Tehničke karakteristike pumpe MAGNA3 25-40	47
Tablica 42. Tehničke karakteristike pumpe ALPHA SOLAR 15-75 130	50

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

1. Tlocrt prizemlja – razvod cijevi grijanja/hlađenja i ventilacijskih kanala
2. Tlocrt 1. kata – razvod cijevi grijanja/hlađenja i ventilacijskih kanala
3. Tlocrt 2. kata – razvod cijevi grijanja/hlađenja i ventilacijskih kanala
4. Tlocrt 3. kata – razvod cijevi grijanja/hlađenja i ventilacijskih kanala
5. Tlocrt krova – dispozicija opreme
6. Shema spajanja
7. Ventilacijska shema

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
U	[W/m ² K]	Koeficijent prolaza topline
θ	[°C]	Temperatura
A _p	[m ²]	Površina prostorije
θ _u	[°C]	Unutrašnja temperatura prostorije
φ _n	[W]	Ukupni projektni toplinski gubici/opterećenje
φ _T	[W]	Ukupni transmisijski gubici
φ _V	[W]	Ukupni ventilacijski gubici
A	[m ²]	Oplošje grijanog dijela zgrade
V _e	[m ³]	Volumen grijanog dijela zgrade
f ₀	[m ⁻¹]	Faktor oblika zgrade
A _K	[m ²]	Površina korisnog dijela zgrade
A _f	[m ²]	Površina grijane zone računata s vanjskim dimenzijama
n ₅₀	[h ⁻¹]	Broj izmjena zraka pri nametnutoj razlici tlaka od 50 Pa
Q _{H,nd}	[kWh/a]	Ukupna godišnja potrebna energija za grijanje
Q'' _{H,nd}	[kWh/m ² a]	Specifična godišnja potrebna energija za grijanje po m ²
Q _{C,nd}	[kWh/a]	Ukupna godišnja potrebna energija za hlađenje
Q'' _{C,nd}	[kWh/m ² a]	Specifična godišnja potrebna energija za hlađenje po m ²
V _{W,f,dan}	[lit./jedinici/dan]	Dnevna potrošnja PTV-a po korisniku u zgradi
f	[-]	Broj ljudi
θ _{w,del}	[°C]	Temperatura potrošne tople vode
θ _{w,0}	[°C]	Temperatura svježje vode
Q _w	[kWh]	Godišnja potrebna toplinska energija za pripremu PTV-a
Q _{w,sol,us}	[kWh]	Potrebna godišnja izlazna toplina iz podsustava za proizvodnju PTV-a
Q _{w,sol,out}	[kWh]	Isporučena Sunčeva energija u sustav za proizvodnju PTV-a
f _{sol}	[-]	Udio isporučene Sunčeve energije u toplinskom opterećenju
Q _{bu,m}	[kWh]	Toplinska energija koju je potrebno dovesti dodatnim generatorom topline
Q _{gen,in}	[kWh]	Toplinska energija za grijanje na ulazu u podsustav proizvodnje
E _{del}	[kWh]	Isporučena energija u sustav
f _p	[kWh]	Faktor primarne energije
E _{prim}	[kWh]	Primarna energija sustava

SAŽETAK

U ovom radu izrađeno je projektno rješenje sustava grijanja, hlađenja i ventilacije uredske zgrade za klimatsku zonu grada Zagreba. Proveden je proračun projektnih toplinskih gubitaka prema algoritmu HRN EN 12831 i projektnog toplinskog opterećenja prema VDI 2078 putem računalnog programa IntegraCAD, čime je dobiven potrební toplinski i rashladni učin instaliranog sustava grijanja i hlađenja.

U okviru zadatka provedena je usporedba 3 sustava grijanja: grijanja kotlom na prirodni plin, kotlom na biomasu i dizalicom topline tlo-voda kako bi se dobilo optimalno rješenje prema pogonskim i investicijskim troškovima. Pogonski troškovi tj. isporučena energija sustava grijanja proračunata je računalnim programom Ki Expert plus dok su investicijski troškovi dobiveni od proizvođača opreme sustava grijanja, tvrtki Viessman i Hoval.

U okviru projektnog rješenja odabrana je ugradnja sustava mehaničke ventilacije sa sustavom povrata topline koja služi za pokrivanje ventilacijskog higijenskog minimuma kako bi se održavala odgovarajuća kvaliteta zraka u prostoru.

Za režim hlađenja odabrana je ugradnja zrakom hlađenog rashladnika vode, a za zagrijavanje potrošne tople vode solarni sustav koji će imati podršku od sustava grijanja u vremenu kada ne može isporučiti dovoljnu količinu tople vode.

Rezultat provedene usporede sustava grijanja pokazao je da dizalica topline tlo-voda ima najmanje troškove pogona i najmanje gubitke topline u podsustavu proizvodnje, ali najveću cijenu investicije od ostalih promatranih sustava, kotao na prirodni plin ima najmanju cijenu investicije ali najveći iznos primarne energije, tako da je odabran kotao na biomasu kao optimalno rješenje zbog najmanjeg iznosa primarne energije, tj. korištenja obnovljivog izvora energije i prihvatljivog odnosa cijene pogona i cijene investicije.

Ključne riječi: grijanje, hlađenje, ventilacija

SUMMARY

With this thesis, a system for heating, refrigeration and ventilation was designed, for the purpose of installment in an office building, with climate data for the city of Zagreb.

Calculation of heat losses and cooling loads was made according to the standards HRN EN 12831 and VDI 2078 with software IntegraCAD, from which the heating and cooling outputs of the installed systems were chosen.

The purpose of this thesis was to choose from the 3 heating systems: natural gas boiler, biomass boiler, and ground source heat pump according to the optimal operating expenses and investment costs. Operating expenses were calculated in the software Ki Expert Plus while the investment costs were acquired from the manufacturers of heating systems, Viessman and Hoval.

A mechanical ventilation system with a recuperative heat exchanger was chosen for this project, to meet the ventilation hygienic minimum, and to keep the adequate quality of indoor air.

An air condensed water chiller was chosen for the cooling needs of the building, and a solar water heating system, for the purpose of heating domestic hot water with the assistance of the heating system.

The result of the comparison has shown that the ground source heat pump has the lowest operating expenses but major investment costs, the natural gas boiler has the lowest investment costs but the highest value of spent primary energy, so the biomass boiler was chosen as the optimal system because of its low value of spent primary energy and an acceptable operating expenses to investment costs ratio.

Key words: heating, refrigeration, ventilation

1. Uvod

Grijanje, hlađenje i ventilacija služe za održavanje toplinske ugodnosti kondicioniranog prostora tj. unutrašnje temperature, vlažnosti i čistoće zraka koja se ne može postići prirodnim putem.

Postoji više različitih uređaja i tehnologija koje služe za ovu svrhu te se ovim radom želi pronaći optimalno rješenje. Na odabir odgovarajućeg sustava utječe klimatska lokacija, slobodni prostor unutar i oko zgrade te dostupnost potrebnog energenta za proizvodnju toplinske i rashladne energije.

Optimalno rješenje je potrebno pronaći s pogleda najnižih pogonskih troškova te najmanje cijene investicije ali treba obratiti pozornost i na utjecaj na okoliš.

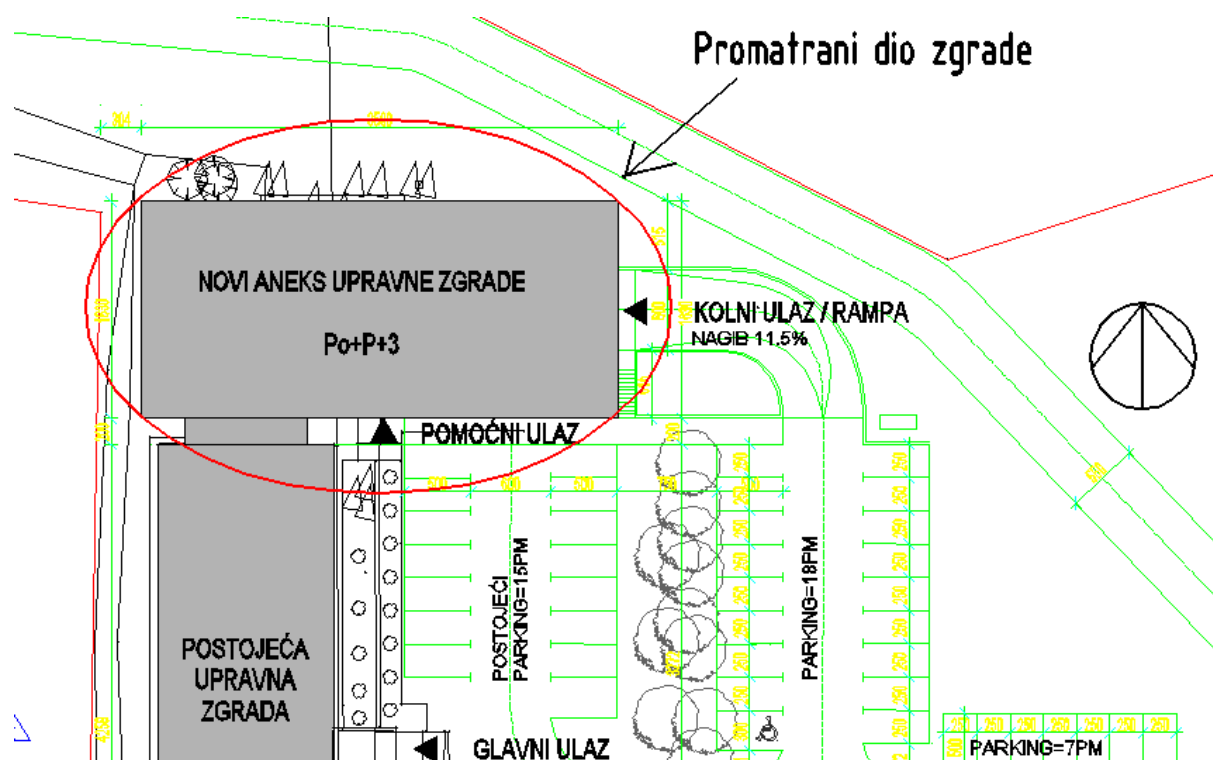
Energetska učinkovitost ima veliki značaj u modernome svijetu. Nastoji se postići održivi razvoj, koji se postiže smanjivanjem potrošnje energije i uporabom obnovljivih izvora energije. Većom učinkovitosti postiže se smanjenje emisije stakleničkih plinova, otvaranje radnih mjesta i osiguravanje energetske sigurnosti.

U zgradama se koristi oko 40 % od ukupne potrošnje energije [23], iz čega se vidi važnost energetske učinkovitosti prilikom gradnje zgrade i odabira termotehničkog sustava.

Upravo iz ovog razloga vidi se potreba za odabirom sustava koji uzima u obzir investicijske i pogonske troškove, koji često idu u korist sustavima s neobnovljivim izvorom energije, ali i količina primarne energije kojom se vidi utjecaj sustava na okoliš.

2. Opis zgrade

Zgrada se sastoji od 4 etaže (prizemlje i 3 kata). Zgrada je novogradnja, poslovne namjene te je s južne strane spojena na postojeću upravnu zgradu (Slika 1). Koeficijenti prolaza topline zidova i otvora zgrade odabrani su da zadovoljavaju Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (Tablica 1). Oblik zgrade je pravokutan te je dužina 35,9 m, širina 16,3 m a visina pojedinačne etaže iznosi 2,93 m. Prizemlje zgrade je sa sjeverne i zapadne strane djelomično ukopano u tlo, a uz uredske prostore, prostorije za sastanke i sanitarija, sadrži i sistem salu, spremište, prostoriju za odlaganje računala, arhivu i čajnu kuhinju; dok ostale 3 etaže sadrže samo uredske prostorije i sanitarije. Etaže su spojene stepenicama na sjevernom dijelu zgrade te unutarnjim dizalom. Ispod etaže prizemlja nalazi se garaža dok je iznad 3. kata ravni krov.



Slika 1. Prikaz lokacije i orijentacije poslovne zgrade

Građevni element	U [W/m ² K]
Vanjski zidovi prema tlu	0,4
Vanjski zidovi	0,3
Zidovi i stropovi prema negrijanim prostorijama	0,4
Zidovi i stropovi prema grijanim prostorijama	0,6
Pod iznad garaže i ravni krov	0,25
Prozori	1,6
Vrata	2

Tablica 1. Građevni elementi ovojnice zgrade i njihovi koeficijenti prolaza topline

Zgrada nema unutarnji prostor predviđen za kotlovnicu te će se razmotriti ugradnja opreme na ravnom krovu. Na ravni krov se može pristupiti unutarnjim stubištem i dizalom.

3. Projektni toplinski gubici

Proračun projektnih toplinskih gubitaka vrši se putem računalnog programa IntegraCAD, prema normi HRN EN 12831.

3.1. Ulazne veličine

Ulazni podaci	θ [°C]
Vanjska projektna temperatura (Zagreb)	-15
Unutarnja projektna temperatura grijanog prostora	20
Temperatura garaže (negrijani prostor)	-1
Temperatura stubišta	10
Temperatura dizala (negrijani prostor)	11
Temperatura sistem sale (negrijani prostor)	15
Temperatura arhive i spremišta	18
Temperatura predprostora i prostora čistačice	18

Tablica 2. Ulazni podaci za proračun

3.2. Rezultati proračuna

Proračunom su dobiveni ukupni projektni toplinski gubici promatrane poslovne zgrade. Ti rezultati, uz podatke o unutrašnjim temperaturama prostorija i površinama prostorija, prikazani su za prizemlje (Tablica 3), prvi kat (Tablica 4), drugi kat (Tablica 5), treći kat (Tablica 6), te za cijelu zgradu (Tablica 7).

Oznaka	Prostorija	A_p [m ²]	θ_u [°C]	ϕ_n [W]	ϕ_T [W]	ϕ_v [W]
P1	Sastanci	30	20	1296	796	500
P2	Čajna kuhinja	33	20	1147	587	560
P3	Stubište	14	10	199	199	0
P4	Odlaganje računala	26	16	326	326	0
P5	Ured za 5 osoba	33	20	1450	895	555
P6	Direktor	19	20	750	429	321
P7	Voditelji	14	20	556	311	245
P8	Ured za 5 osoba	27	20	1486	1038	448
P9	Ured za 5 osoba	26	20	958	512	446
P10	SAP	26	20	1042	601	441
P11	Spremište	5	16	316	229	87
P12	WC	5	20	0	0	0
P13	Arhiva	104	16	1253	1253	0
P14	Dizalo	5	11	45	45	0
P15	Predprostor	7	18	145	145	0
P16	RO	3	18	60	60	0
P17	Sistem sala	35	15	448	448	0
P18	Čistačica	3	18	32	32	0
P19	WC	6	20	349	349	0
P20	Recepcija	5	20	156	64	92
P21	Vjetrobran	7	10	511	421	90
P22	WC	1	20	9	9	0
P23	WC	2	20	60	60	0
P24	WC	1	20	15	15	0
P25	Komunikacije	76	20	1064	1064	0
P26	Komunikacije	39	20	530	530	0
	Ukupno: Prizemlje			14203	10418	3785

Tablica 3. Rezultati proračuna za prizemlje

Oznaka	Prostorija	A_p [m ²]	θ_u [°C]	ϕ_n [W]	ϕ_T [W]	ϕ_v [W]
P1	Dizalo	6	11	27	27	0
P2	Stubište	14	10	503	332	171
P3	Čistačica	3	20	23	23	0
P4	RO	3	18	40	40	0
P5	Predprostor	7	18	107	107	0
P6	Revizija	37	20	1615	991	624
P7	Računovodstvo- ured za 6 osoba	36	20	1121	526	595
P8	Računovodstvo- ured za 6 osoba	37	20	1120	507	613
P9	Ured za 6 osoba	36	20	1101	503	598
P10	Računovodstvo- ured za 6 osoba	36	20	1035	434	601
P11	Računovodstvo- ured za 6 osoba	37	20	1527	903	624
P12	Sastanci	40	20	1346	682	664
P13	Komunikacije	146	20	3635	1219	2416
P14	WC	5	20	0	0	0
P15	Voditelji	14	20	482	242	240
P16	WC	1	20	0	0	0
P17	WC	1	20	0	0	0
P18	WC	2	20	32	32	0
P19	Voditelji	14	20	554	309	245
P20	Voditelji	14	20	483	240	243
P21	Direktor resursa	18	20	563	249	314
P22	Ured za 3 osobe	20	20	662	325	337
P23	Direktor računovodstva	19	20	948	618	330
P24	Voditelji	14	20	484	240	244
P25	WC	6	20	2	2	0
	Ukupno: Kat 1			17410	8551	8859

Tablica 4. Rezultati proračuna za prvi kat

Oznaka	Prostorija	A_p [m ²]	θ_u [°C]	ϕ_n [W]	ϕ_T [W]	ϕ_v [W]
P1	Dizalo	6	11	27	27	0
P2	Stubište	14	10	523	352	171
P3	Čistačica	3	18	0	0	0
P4	RO	3	18	39	39	0
P5	Predprostor	8	18	108	108	0
P6	Interna revizija	37	20	1584	963	621
P7	Kontroling-ured za 6 osoba	36	20	969	370	599
P8	Kontroling-ured za 6 osoba	37	20	1031	418	613
P9	Riznica-ured za 6 osoba	36	20	1119	516	603
P10	Riznica-ured za 6 osoba	36	20	967	369	598
P11	Pravna služba	37	20	1663	1041	622
P12	Sastanci	40	20	1439	767	672
P13	Komunikacije	144	20	3574	1177	2397
P14	WC	5	20	0	0	0
P15	WC	1	20	0	0	0
P16	WC	1	20	0	0	0
P17	WC	2	20	32	32	0
P18	Direktor kontrolinga	20	20	667	331	336
P19	Kontroling-voditelji	14	20	467	224	243
P20	Kontroling-voditelji	14	20	465	223	242
P21	Direktor riznice	20	20	590	254	336
P22	Riznica-ured za 2 osobe	14	20	468	224	244
P23	Direktor pravne službe	20	20	811	479	332
P24	Riznica-ured za 2 osobe	14	20	485	241	244
P25	WC	6	20	3	3	0
	Ukupno: Kat 2			17031	8158	8873

Tablica 5. Rezultati proračuna za drugi kat

Oznaka	Prostorija	A_p [m ²]	θ_u [°C]	ϕ_n [W]	ϕ_T [W]	ϕ_v [W]
P1	Dizalo	6	11	62	62	0
P2	Stubište	14	10	572	403	169
P3	Čistačica	3	18	26	26	0
P4	RO	3	18	70	70	0
P5	Predprostor	7	18	173	173	0
P6	Vanjski direktor	16	20	648	381	267
P7	Ured za 4 osobe	28	20	1498	1019	479
P8	Vanjski direktor	17	20	759	475	284
P9	Pokloni	7	20	64	64	0
P10	Uprava	35	20	1313	724	589
P11	Uprava	36	20	1358	756	602
P12	Uprava	36	20	1284	686	598
P13	Uprava	37	20	1847	1224	623
P14	Sastanci	46	20	2109	1344	765
P15	WC	1	20	15	15	0
P16	WC	1	20	16	16	0
P17	WC	2	20	52	52	0
P18	WC	6	20	122	122	0
P19	WC	5	20	47	47	0
P20	Voditelj ureda	13	20	563	342	221
P21	Komunikacije	145	20	4859	2445	2414
P22	Predsjednik uprave	57	20	2872	1926	946
P23	Sastanci	33	20	1687	1141	546
	Ukupno: Kat 3			22016	13513	8503

Tablica 6. Rezultati proračuna za treći kat

Kat	ϕ_n [W]	ϕ_T [W]	ϕ_v [W]
Prizemlje	14203	10418	3785
Kat 1	17410	8551	8859
Kat 2	17031	8158	8873
Kat 3	22016	13513	8503
Ukupno	70660	40640	30020

Tablica 7. Ukupni toplinski gubici zgrade

4. Projektno toplinsko opterećenje zgrade

Proračun projektnog toplinskog opterećenja zgrade vrši se putem računalnog programa IntegraCAD, koji koristi proračun definiran normom VDI 2078. Projektna temperatura u sezoni hlađenja iznosi 26°C. Za instaliranu snagu električne rasvjete odabrana je vrijednost od 12 W/m², a za električnu snagu računala vrijednost od 160 W/računalu [8]. Za prostoriju sistem sale odabrana je instalirana električna snaga elektroničke opreme od 2 kW. Ulazni podaci proračuna prikazani su u Tablici 8, broj osoba, računala i ugrađena rasvjeta unijeti su u skladu s vrstom i površinom svake pojedine prostorije. Ukupni pretpostavljeni broj osoba unutar ove zgrade iznosi 141.

Datum	24. kolovoza -12 sati
Vrijeme	Sunčano
Klimatska zona	Zona 1
Tip prostora	Srednja gradnja
Temperatura prostora	26 °C
Vrsta rada (osoba koje borave u prostoru)	Lagani rad
Električna snaga računala	160 W/računalu
Električna snaga instalirane rasvjete	12 W/m ²

Tablica 8. Ulazni podaci proračuna

4.1. Rezultati proračuna

Rezultati proračuna prikazani su za izračunato najveće toplinsko opterećenje koje se dobiva za datum 24. kolovoza u 12 sati. Rezultati za prizemlje prikazani su u Tablici 9, prvi kat u Tablici 10, drugi kat u Tablici 11, treći kat u Tablici 12 i ukupni rezultati u Tablici 13.

Oznaka	Prostorija	A _p [m ²]	φ _n [W]
P1	Sastanci	30	2945
P2	Čajna kuhinja	33	312
P3	Stubište	14	104
P4	Odlaganje računala	26	193
P5	Ured za 5 osoba	33	1449
P6	Direktor	19	479
P7	Voditelji	14	619
P8	Ured za 5 osoba	27	3681
P9	Ured za 5 osoba	26	2631
P10	SAP	26	2582
P11	Spremište	5	44
P12	WC	5	37
P13	Arhiva	104	772
P14	Dizalo	5	-
P15	Predprostor	7	52
P16	RO	3	22
P17	Sistem sala	35	1809
P18	Čistačica	3	22
P19	WC	6	44
P20	Recepcija	5	252
P21	Vjetrobran	7	52
P22	WC	1	7
P23	WC	2	14
P24	WC	1	7
P25	Komunikacije	76	3596
P26	Komunikacije	39	290
	Ukupno: Prizemlje		22015

Tablica 9. Rezultati proračuna za prizemlje

Oznaka	Prostorija	A_p [m ²]	ϕ_n [W]
P1	Dizalo	6	-
P2	Stubište	14	104
P3	Čistačica	3	22
P4	RO	3	22
P5	Predprostor	7	52
P6	Revizija	37	3024
P7	Računovodstvo- ured za 6 osoba	36	3359
P8	Računovodstvo- ured za 6 osoba	37	2930
P9	Ured za 6 osoba	36	3311
P10	Računovodstvo- ured za 6 osoba	36	3311
P11	Računovodstvo- ured za 6 osoba	37	3105
P12	Sastanci	40	2971
P13	Komunikacije	146	2486
P14	WC	5	37
P15	Voditelji	14	1407
P16	WC	1	7
P17	WC	1	7
P18	WC	2	14
P19	Voditelji	14	1407
P20	Voditelji	14	1503
P21	Direktor resursa	18	1219
P22	Ured za 3 osobe	20	2105
P23	Direktor računovodstva	19	1355
P24	Voditelji	14	1503
P25	WC	6	44
	Ukupno: Kat 1		35305

Tablica 10. Rezultati proračuna za prvi kat

Oznaka	Prostorija	A_p [m ²]	ϕ_n [W]
P1	Dizalo	6	-
P2	Stubište	14	104
P3	Čistačica	3	22
P4	RO	3	22
P5	Predprostor	8	59
P6	Interna revizija	37	3458
P7	Kontroling-ured za 6 osoba	36	2922
P8	Kontroling-ured za 6 osoba	37	2655
P9	Riznica-ured za 6 osoba	36	3359
P10	Riznica-ured za 6 osoba	36	2922
P11	Pravna služba	37	3581
P12	Sastanci	40	3091
P13	Komunikacije	144	2311
P14	WC	5	37
P15	WC	1	7
P16	WC	1	7
P17	WC	2	14
P18	Direktor kontrolinga	20	1718
P19	Kontroling-voditelji	14	1407
P20	Kontroling-voditelji	14	1407
P21	Direktor riznice	20	1234
P22	Riznica-ured za 2 osobe	14	1407
P23	Direktor pravne službe	20	1283
P24	Riznica-ured za 2 osobe	14	1256
P25	WC	6	44
	Ukupno: Kat 2		34327

Tablica 11. Rezultati proračuna za drugi kat

Oznaka	Prostorija	A_p [m ²]	ϕ_n [W]
P1	Dizalo	6	-
P2	Stubište	14	104
P3	Čistačica	3	22
P4	RO	3	22
P5	Predprostor	7	52
P6	Vanjski direktor	16	401
P7	Ured za 4 osobe	28	2535
P8	Vanjski direktor	17	1671
P9	Pokloni	7	62
P10	Uprava	35	2093
P11	Uprava	36	1786
P12	Uprava	36	2101
P13	Uprava	37	2238
P14	Sastanci	46	3770
P15	WC	1	9
P16	WC	1	10
P17	WC	2	17
P18	WC	6	52
P19	WC	5	44
P20	Voditelj ureda	13	1200
P21	Komunikacije	145	2953
P22	Predsjednik uprave	57	4024
P23	Sastanci	33	3380
	Ukupno: Kat 3		28546

Tablica 12. Rezultati proračuna za treći kat

Kat	ϕ_n [W]
Prizemlje	22015
Kat 1	35305
Kat 2	34327
Kat 3	28546
Ukupno	120193

Tablica 13. Ukupno toplinsko opterećenje zgrade

5. Potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje

Potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje dobivena je putem računalnog programa KI Expert Plus, koji koristi proračun definiran normom HRN EN ISO 13790.

5.1. Ulazne veličine

U proračunu je definirana jedna zona u kojoj je obuhvaćen cijeli grijani i hlađeni prostor promatrane zgrade (Tablica 14).

Oplošje grijanog dijela zgrade A [m^2]	2485,78
Obujam grijanog dijela zgrade V_e [m^3]	6220,40
Faktor oblika zgrade f_0 [m^{-1}]	0,40
Ploština korisne površine zgrade A_K [m^2]	2057,00
Površina grijane zone računato s vanjskim dimenzijama A_f [m^2]	2328,7
Period korištenja	7:00-18:00 h
Broj dana korištenja	5
Masivnost konstrukcije	Srednje teška zgrada
Način grijanja	Centralno
Prosječna unutarnja projektna temperatura grijanja $^{\circ}C$	20,00
Prosječna unutarnja projektna temperatura hlađenja $^{\circ}C$	22,00
Broj izmjena zraka pri nametnutoj razlici tlaka od 50 Pa	$n_{50} = 3,00$ [h^{-1}]

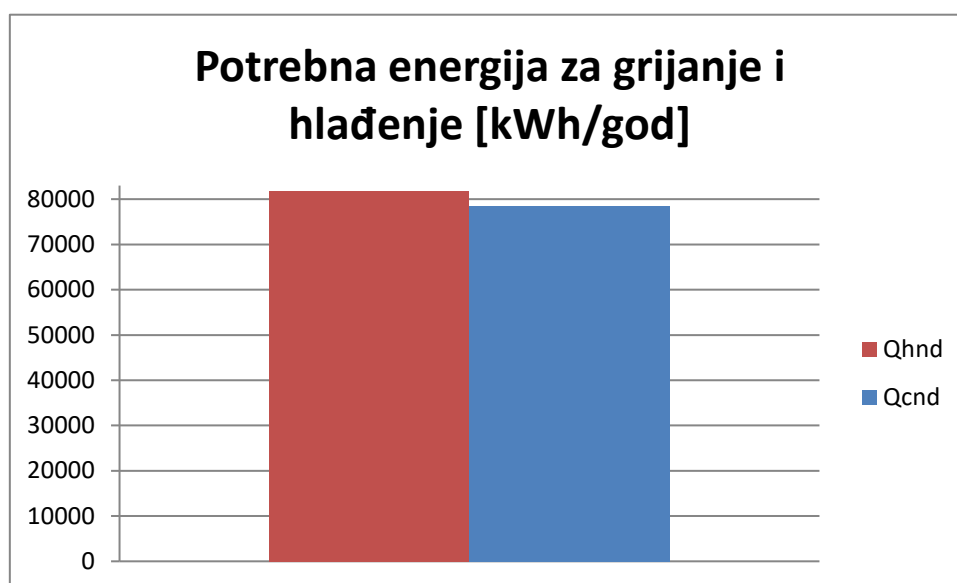
Tablica 14. Ulazni podaci proračuna

5.2. Rezultati proračuna

U Tablici 15 i na Slici 2 prikazane su vrijednosti godišnje potrebne energije za grijanje i hlađenje zgrade, te specifične vrijednosti po metru korisne površine zgrade.

$Q_{H,nd}$ [KWh/a]	81870,3
$Q''_{H,nd}$ [KWh/m ² a]	39,8
$Q_{C,nd}$ [KWh/a]	78466,5
$Q''_{C,nd}$ [KWh/m ² a]	38,2

Tablica 15. Godišnja potrebna energija za grijanje i hlađenje zgrade



Slika 2. Potrebna godišnja energija za grijanje i hlađenje

6. Potrošna topla voda

Toplina za grijanje potrošne tople vode dobivat će se solarnim toplovodnim kolektorima. Za solarne kolektore, prema proračunu u KI Expertu, odabrani su ostakljeni pločasti kolektori ukupne osunčane površine 32,9 m² kojom se osigurava odgovarajuće pokrivanje potreba za PTV-om tijekom cijele godine. Za spremnik PTV-a je odabran volumen od 1500 l.

6.1. Ulazne veličine

Potrebna količina potrošne tople vode i temperatura prikazani su u Tablici 16. Potrošna topla voda se u sustavu proizvodnje tj. u spremniku zagrijava na 60°C kako bi se spriječio razvoj legionele. Pretpostavljeni broj ljudi unutar prostora zgrade prikazan je u Tablici 16.

$V_{w,f,dan}$ [lit./osobi/dan]	10
f [-]	141
$\vartheta_{w,del}$ [°C]	45
$\vartheta_{w,0}$ [°C]	12
Q_w [kWh]	14092,2

Tablica 16. Potrebna količina i godišnja energija za zagrijavanje PTV-a

6.2. Rezultati proračuna

	$Q_{w,sol,us}$ [kWh]	$Q_{w,sol,out}$ [kWh]	f_{sol} [-]	$Q_{bu,m}$ [kWh]
Ukupno godišnje	16206,1	10032,4	0,674	7125,2

Tablica 17. Usporedba dobivene i dodatna potrebna toplinska energija za zagrijavanje PTV-a

Dodatna toplinska energija koju solarni toplovodni sustav ne može osigurati dovest će se od sustava grijanja (Tablica 17).

7. Odabir optimalnog rješenja sustava grijanja

Ukupni toplinski učin ogrjevnih tijela mora biti veći od 70,66 kW (Tablica 7) te se odabire $\phi_{em}=71$ kW. Toplinski učin potreban za predgrijač, grijač i dogrijač klimatizacijske jedinice izračunat je u Poglavlju 8. Odabrani toplinski učin izvora topline treba biti:

$$\phi_{izvor} \geq \phi_{em} + \phi_{pr} + \phi_{gr} + \phi_{dogr} = 70,7 + 20,6 + 29,2 + 28,3 = 148,8 \text{ kW} \quad (1)$$

Za ogrjevna tijela u prostoru zgrade odabiru se ventilokonvektori. Odabir optimalnog rješenja proveden je korištenjem računalnog programa KI Expert Plus. Sustavi grijanja koji se uspoređuju su kotao na plin, kotao na biomasu i dizalica topline tlo-voda.

7.1. Ulazni parametri

U Tablici 18 prikazani su bitni ulazni parametri proračuna. Potrebna toplinska energija za dogrijavanje PTV-a određena je u Poglavlju 6 te uključena u ovom proračunu. Proračun uzima u obzir i postojanje mehaničke ventilacije, prema Shemi 9 iz Algoritama za proračun potrebne energije za primjenu ventilacijskih i klimatizacijskih sustava kod grijanja i hlađenja prostora zgrade [5]. Potrebne količine dobavnog i odsisnog zraka te njihove temperature ubacivanja prikazane su u Poglavlju 8. Sustav grijanja služi i za dogrijavanje potrošne tople vode te će osiguravati potrebnu toplinsku energiju $Q_{bu,m}$ proračunatu u Poglavlju 6.

Duljine cjevovoda grijanja i potrošne tople vode izračunati su prema jednadžbama danim u algoritmu HRN EN 15316, koji je integriran u programu KI Expert Plus, za dimenzije zgrade definirane u Poglavlju 2.

	Plinski kondenzacijski kotao	Kotao na biomasu	Dizalica topline tlo- voda
Smještaj sustava grijanja	izvan zgrade	izvan zgrade	izvan zgrade
Instalirani toplinski učin [kW]	150	156	171
Temperaturni režim grijanja prostora [°C]	45/40	45/40	45/40
Ogrjevno tijelo	ventilokonvektori	ventilokonvektori	ventilokonvektori
Razvod grijanja	dvocijevan	dvocijevan	dvocijevan
Hidraulički uravnotežen	da	da	da
Pumpa kruga grijanja – regulacija	konstantan Δp	konstantan Δp	konstantan Δp
Služi za dogrijavanje PTV-a	da	da	da
Volumen međuspremnika tople vode [l]	-	3000	3000

Tablica 18. Ulazni parametri proračuna isporučene i primarne energije sustava grijanja

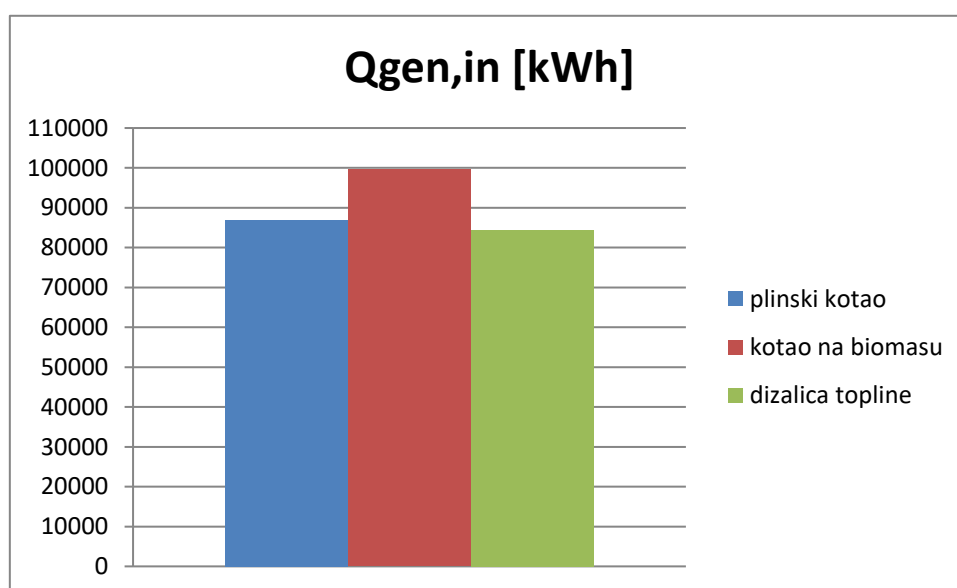
7.2. Usporedba sustava grijanja

Usporedbom sustava proizvodnje toplinske energije (Tablica 19) vidljivo je da je upotreba dizalice topline najbolje rješenje prema isporučenoj energiji i pogonskim troškovima, ali i najskuplja gledajući cijenu investicije [9],[11]. Cijena energenata koja je uzeta za proračun pogonskih troškova iznosi 0,3 kn/kWh za drvene pelete i prirodni plin te 0,9 kn/kWh za električnu energiju [6]. U cijenu investicije kod kotla na prirodni plin i kotla na biomasu, uračunata je i cijena rashladnika vode koji će se koristiti u sezoni hlađenja [10].

	$Q_{\text{gen,in}}$ [kWh]	E_{del} [kWh]	E_{prim} [kWh]	Cijena pogona [kn/god]	Cijena investicije [kn]
Plinski kotao	87008,39	87181,04	95552,85	26257,9	244776
Kotao na biomasu	99622,14	101034	14472,63	31157,32	365416
Dizalica topline	84444	21158,32	34149,53	19042,49	651305,2

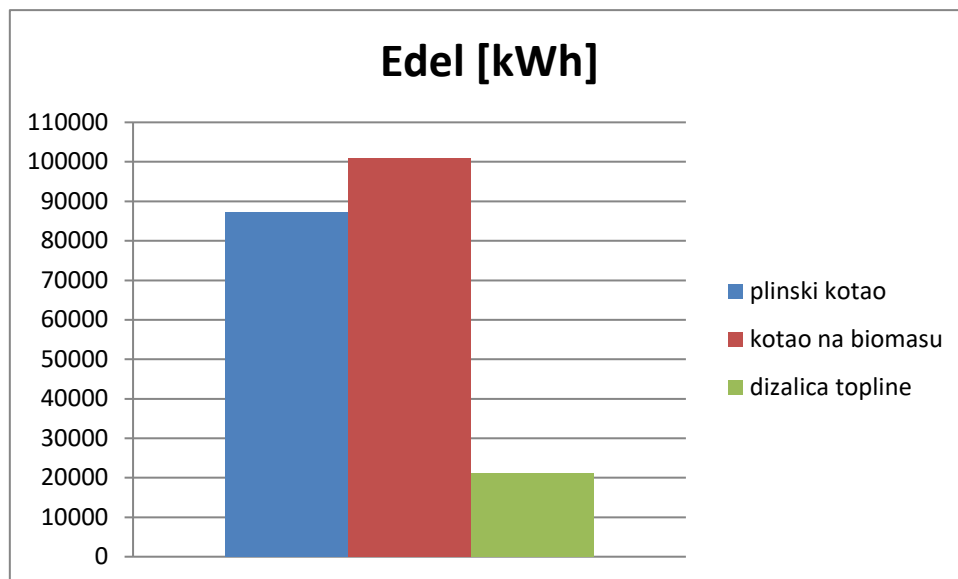
Tablica 19. Usporedba sustava proizvodnje toplinske energije

Prema dovedenoj toplinskoj energiji u sustav proizvodnje vidljivo je da dizalica topline ima najmanje toplinske gubitke topline u sustavu proizvodnje toplinske energije (Slika 3).



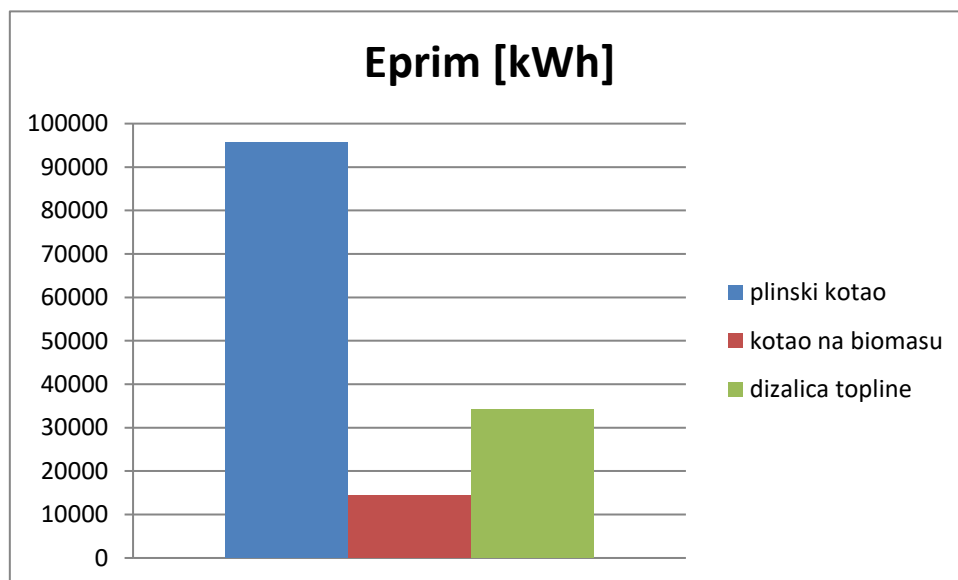
Slika 3. Usporedba sustava prema dovedenoj toplinskoj energiji u sustav proizvodnje

Dizalica topline ima najmanju vrijednost ukupne isporučene energije u sustav (Slika 4).



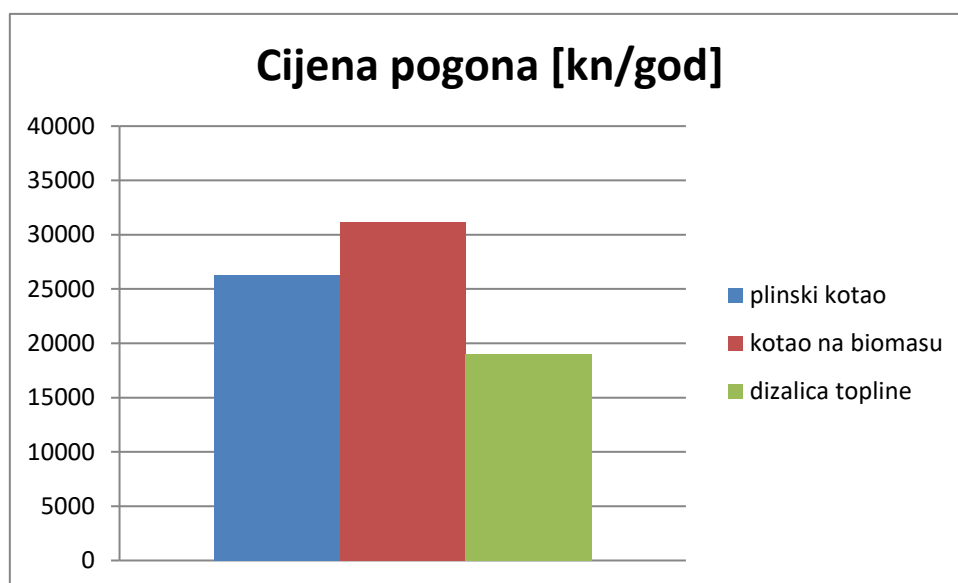
Slika 4. Usporedba sustava prema isporučenoj energiji

Prema primarnoj energiji kotao na biomasu je najbolji, što je i očekivano zbog upotrebe drvenih peleta za proizvodnju topline koji su obnovljivi izvor energije (Slika 5).

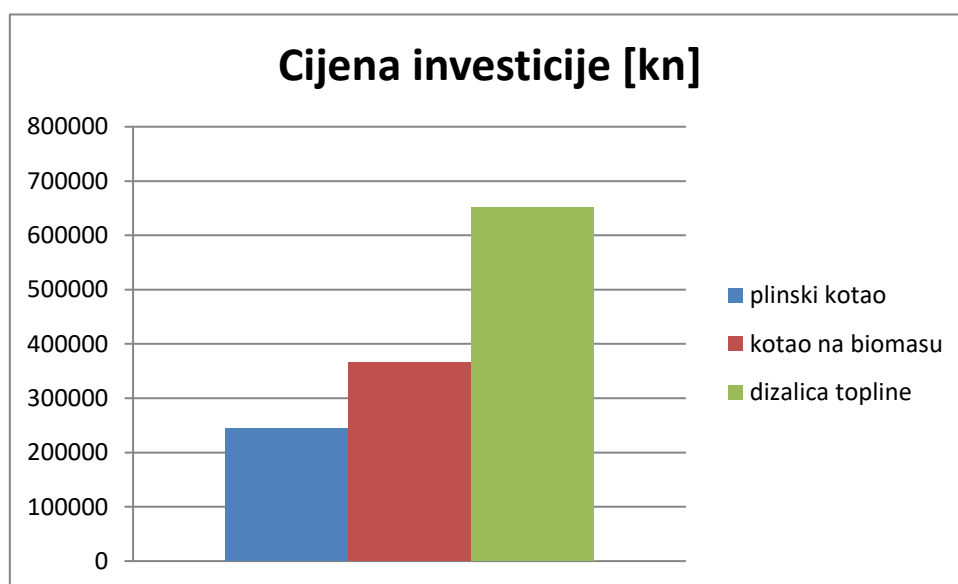


Slika 5. Usporedba sustava prema primarnoj energiji energenata sustava

Dizalica topline ima najmanje pogonske troškove za proizvodnju toplinske energije (Slika 6).

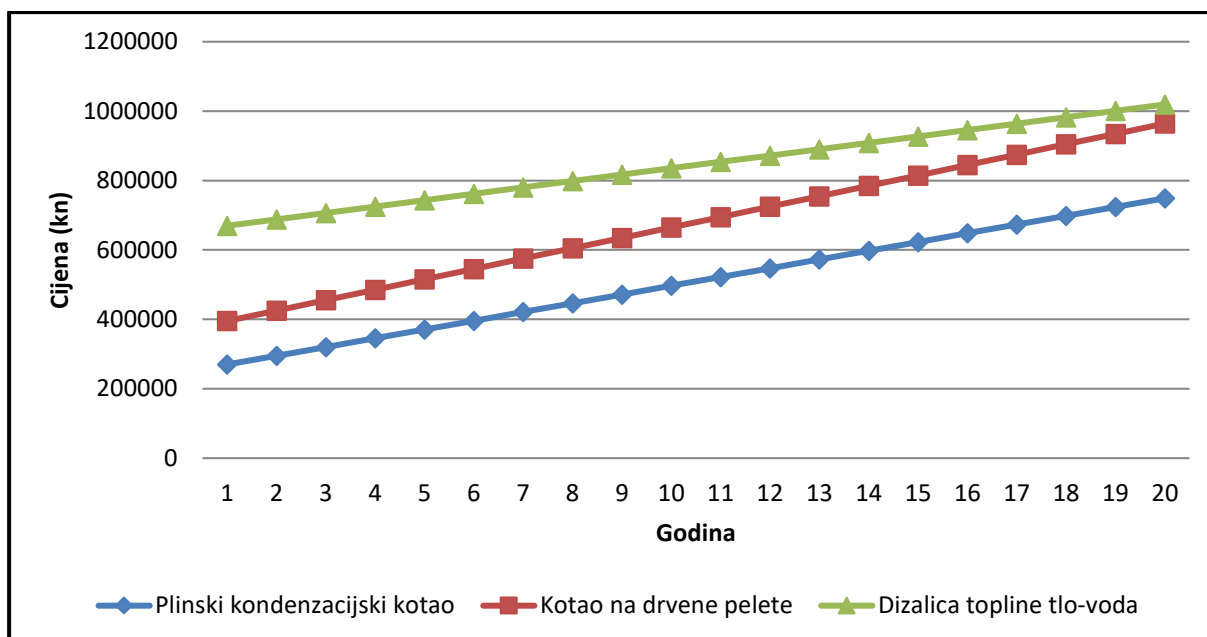


Slika 6. Usporedba godišnjih pogonskih troškova



Slika 7. Usporedba cijena investicije sustava grijanja

Premda dizalica topline ima najmanje pogonske troškove, ima najveće investicijske čime nije isplativ sustav za ugradnju (Slika 7). Plinski kondenzacijski kotao ima najmanju cijenu investicije (Slika 7) ali i najveći iznos primarne energije (Slika 5). Kotao na biomasu nalazi se u sredini prema cijeni investicije ali ima najmanji iznos primarne energije (Slika 5).



Slika 8. Prikaz ukupnih troškova sustava grijanja u vremenskom periodu od 20 godina

Na Slici 8 prikazana je usporedba ukupnih troškova sustava u vremenskom periodu od 20 godina. Vidimo da je dizalica topline najskuplje rješenje, a kotao na prirodni plin najjeftinije. U periodu od 20 godina vidi se kako se linija ukupnih troškova kotla na biomasu približava liniji troškova dizalice topline, ali je i dalje ne presijeca. U troškove investicije dizalice topline uključena je samo cijena opreme, kada bi se uzeli u obzir i troškovi polaganja sonde u zemlju ta vrijednost bi bila znatno viša. Iz ove analize odabire se kotao na biomasu kao optimalno rješenje uzimajući u obzir primarnu energiju, tj. utjecaj na okoliš i ukupne troškove ugradnje sustava.

8. Sustav ventilacije

8.1. Ventilacijski zahtjevi

Sustav ventilacije zgrade služi za zadovoljavanje ventilacijskog higijenskog minimuma. Odabrana vrijednost potrebne količine zraka po osobi je $35 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{broj osoba})$ [19]. Prema broju sjedećih mjesta unutar prostorija zgrade, izračunata potrebna vrijednost dobavnog zraka iznosi $9695 \text{ m}^3/\text{h}$ (Tablica 20). Za prostor arhive odabran je protok zraka od $100 \text{ m}^3/\text{h}$ [4]. Kada se uračuna potrebna dobava vanjskog zraka za ljude, prostoriju arhive i nadoknađeni zrak koji se odsisava iz prostora sanitarija, rezultat je ukupna potrebna količina dobavnog zraka od $10595 \text{ m}^3/\text{h}$. Volumni protok dobavnog zraka u prostor zgrade reguliran je, u svakoj prostoriji posebno, preko regulatora varijabilnog protoka koji je povezan s CO_2 osjetnikom. Tom regulacijom osigurava se ušteda energije u vremenu kad ljudi ne borave u prostoriji. Temperatura dobavnog zraka u zimskom režimu iznosi 18°C , a u ljetnom režimu iznosi 24°C .

Broj sjedećih mjesta	Protok zraka po osobi [m^3/h]	Ukupno [m^3/h]
277	35	9695

Tablica 20. Potrebna količina vanjskog zraka za prostore u kojima ljudi borave

Odsisni zrak iz prostorija sanitarija odvodi se zasebnim sustavom ventilacijskih kanala. Broj izmjena zraka sanitarija iznosi 4 h^{-1} iz čega se dobiva potreban odsis od $800 \text{ m}^3/\text{h}$. Ta vrijednost je na svakoj etaži uvećana za 10 Pa kako bi se ostvario blagi potlak u prostorijama sanitarija i spriječilo širenje neugodnih mirisa (Tablica 21).

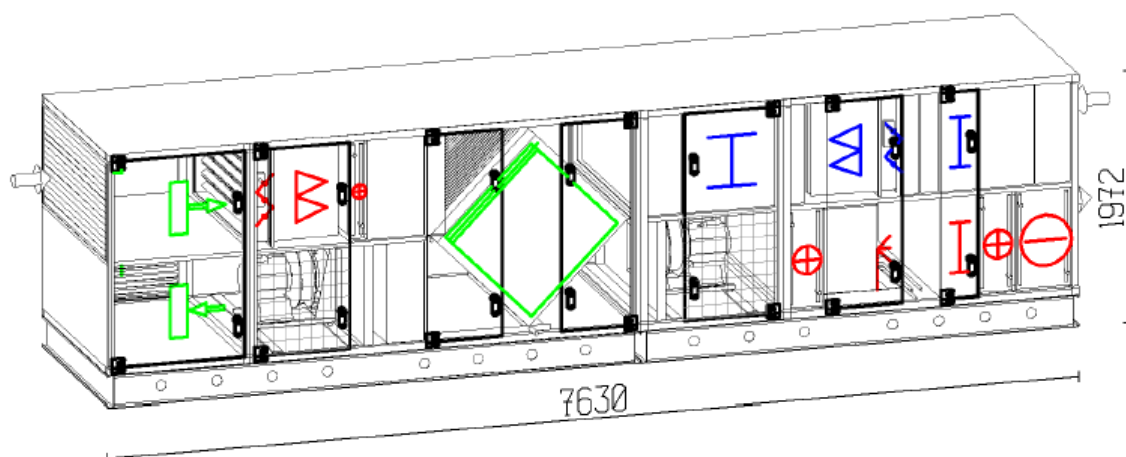
U cijeloj zgradi prostorije su neutralne, tj. volumni protok dobavnog zraka jednak je volumnom protoku odsisa iz njih, osim ispred prostora sanitarija gdje se dovodi $200 \text{ m}^3/\text{h}$ a odvodi $210 \text{ m}^3/\text{h}$ po etaži i prostora tajnica u hodniku na 3.katu, gdje nema odsisnog kanala već postoji samo dobavni od $105 \text{ m}^3/\text{h}$. Prema tome određuje se volumni protok odsisne struje zraka prema klimakomori od $9690 \text{ m}^3/\text{h}$.

	Prostorija	Ukupno [m ³ /h]
Prizemlje	WC	210
1.kat	WC	210
2.kat	WC	210
3.kat	WC	210

Tablica 21. Protočna količina odsisnog zraka za prostore sanitarija

8.2. Dimenzioniranje klimatizacijske jedinice

Proračun klimatizacijske jedinice uz odabir opreme i konstrukciju same komore proveden je putem računalnog programa SystemairCAD [20]. Odabrana je klimatizacijska jedinica proizvođača Danvent tip DV40 za montažu na ravni krov (Slika 9).



Slika 9. Odabrana klimatizacijska jedinica - tip Danvent DV40

8.2.1. Termodinamički proračun sustava ventilacije – Zima

Ulazni podaci:

- vanjski projektni uvjeti: $\vartheta_v = -12,8^\circ\text{C}$, $x_v = 0,85 \text{ g/kg}$, $\varphi_v = 80\%$;
- unutarnji projektni uvjeti: $\vartheta_p = 20^\circ\text{C}$, $x_p = 7,1 \text{ g/kg}$, $\varphi_p = 50\%$;
- gustoća zraka $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$
- latentno opterećenje od osoba $Q_L = 9,9 \text{ kW}$
- specifična toplota isparavanja vode $r = 2500 \text{ kJ/kgK}$
- volumen dobavnog zraka $q_v = 10595 \text{ m}^3/\text{h}$
- volumen povratnog zraka $q_v = 9690 \text{ m}^3/\text{h}$
- specifični toplinski kapacitet zraka $c_p = 1,005 \text{ kJ/kgK}$

Potreban sadržaj vlage u stanju ubacivanja:

$$x_u = x_p - \frac{Q_L}{\rho \cdot q_v \cdot r} = 7,1 - \frac{9,9}{1,2 \cdot \frac{10595}{3600} \cdot 2500} = 6 \text{ g/kg} \quad (1)$$

Predgrijač:

- protok dobavnog zraka: $10595 \text{ m}^3/\text{h}$
- pad tlaka dobavnog zraka: 19 Pa
- brzina dobavnog zraka kroz predgrijač: $2,7 \text{ m/s}$
- temperatura dobavnog zraka prije/nakon: $-12,8 / -7^\circ\text{C}$
- relativna vlažnost dobavnog zraka prije/nakon: $80 / 50 \%$
- toplinski učin: $20,6 \text{ kW}$
- ogrjevnj medij: voda
- temperatura vode ulaz/izlaz: $80 / 60^\circ\text{C}$

- protok vode: 0,25 l/s
- pad tlaka vode: 2,6 kPa
- materijal cijevi: Cu

Svrha ugradnje predgrijača je zagrijavanje struje vanjskog zraka kako bi se spriječila pojava leda unutar rekuperatora topline i osigurala učinkovitost rekuperacije topline iznad 70 %. U režimu hlađenja, pri vrlo niskim temperaturama blizu projektne vanjske temperature zraka, vanjska struja zraka previše pothlađuje izlaznu struju potrošenog zraka iz prostora zgrade, čime je moguća pojava leda u rekuperatoru topline. Ukoliko bi se to dogodilo, prekinulo bi se strujanje zraka kroz rekuperator. Temperatura od -7°C , na izlazu iz predgrijača, odabrana je kao optimalna prilikom proračuna potrebnog toplinskog učina predgrijača, uzimajući u obzir izlaznu temperature struje potrošenog zraka iz rekuperatora i učinkovitost rekuperatora topline.

Rekuperator:

- protok dobavnog zraka: $10595 \text{ m}^3/\text{h}$
- pad tlaka dobavnog zraka: 243 Pa
- protok odsisnog zraka: $9690 \text{ m}^3/\text{h}$
- pad tlaka odsisnog zraka: 201 Pa
- temperatura dobavnog zraka prije/nakon: $-7 / 13,8^{\circ}\text{C}$
- relativna vlažnost dobavnog zraka prije/nakon: 50 / 12 %
- temperatura odsisnog zraka prije/nakon: $20 / 3,4^{\circ}\text{C}$
- relativna vlažnost odsisnog zraka prije/nakon: 50 / 100 %
- toplinski učin rekuperatora: 74,4 kW
- stupanj povrata topline: 76,9 %

Grijač:

- protok dobavnog zraka: 10595 m³/h
- pad tlaka dobavnog zraka: 23 Pa
- brzina dobavnog zraka kroz grijač: 2,83 m/s
- temperatura dobavnog zraka prije/nakon: 13,8 / 22 °C
- relativna vlažnost dobavnog zraka prije/nakon: 12 / 7 %
- toplinski učin: 29,2 kW
- ogrjevni medij: voda
- temperatura vode ulaz/izlaz: 80 / 60 °C
- protok vode: 0,36 l/s
- pad tlaka vode: 11,9 kPa
- materijal cijevi: Cu

Ovlaživač:

- medij: voda
- protok dobavnog zraka: 10595 m³/h
- pad tlaka dobavnog zraka kroz ovlaživač: 194 Pa
- temperatura dobavnog zraka prije/nakon: 22 / 10 °C
- relativna vlažnost dobavnog zraka prije/nakon: 7 / 78,5 %
- učinkovitost: 86,7 %
- snaga pumpe: 194 W

Dogrijač:

- protok dobavnog zraka: $10595 \text{ m}^3/\text{h}$
- pad tlaka dobavnog zraka: 19 Pa
- brzina dobavnog zraka kroz dogrijač: $2,7 \text{ m/s}$
- temperatura dobavnog zraka prije/nakon: $10 / 18 \text{ }^\circ\text{C}$
- relativna vlažnost dobavnog zraka prije/nakon: $78 / 47 \%$
- toplinski učin: $28,3 \text{ kW}$
- ogrjevni medij: voda
- temperatura vode ulaz/izlaz: $80 / 60 \text{ }^\circ\text{C}$
- protok vode: $0,35 \text{ l/s}$
- pad tlaka vode: $4,6 \text{ kPa}$
- materijal cijevi: Cu

8.2.2. Termodinamički proračun sustava ventilacije - Ljeto

Ulazni podaci:

- vanjski projektni uvjeti: $\vartheta_v=29,6^\circ\text{C}$, $x_v=10,5 \text{ g/kg}$, $\varphi_v=41\%$;
- unutarnji projektni uvjeti: $\vartheta_p=26^\circ\text{C}$, $x_p=9,4 \text{ g/kg}$, $\varphi_p=45\%$;
- gustoća zraka $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$
- volumen dobavnog zraka $q_v=10595 \text{ m}^3/\text{h}$
- volumen povratnog zraka $q_v=9690 \text{ m}^3/\text{h}$
- specifični toplinski kapacitet zraka $c_p=1,005 \text{ kJ/kgK}$

Rekuperator:

- protok dobavnog zraka: 10595 m³/h
- pad tlaka dobavnog zraka: 243 Pa
- protok odsisnog zraka: 9690 m³/h
- pad tlaka odsisnog zraka: 201 Pa
- temperatura dobavnog zraka prije/nakon: 29,6 / 27,2 °C
- relativna vlažnost dobavnog zraka prije/nakon: 41 / 47 %
- temperatura odsisnog zraka prije/nakon: 26 / 28,6 °C
- relativna vlažnost odsisnog zraka prije/nakon: 45 / 39 %
- toplinski učin rekuperatora: 8,7 kW
- stupanj povrata topline: 72,7 %

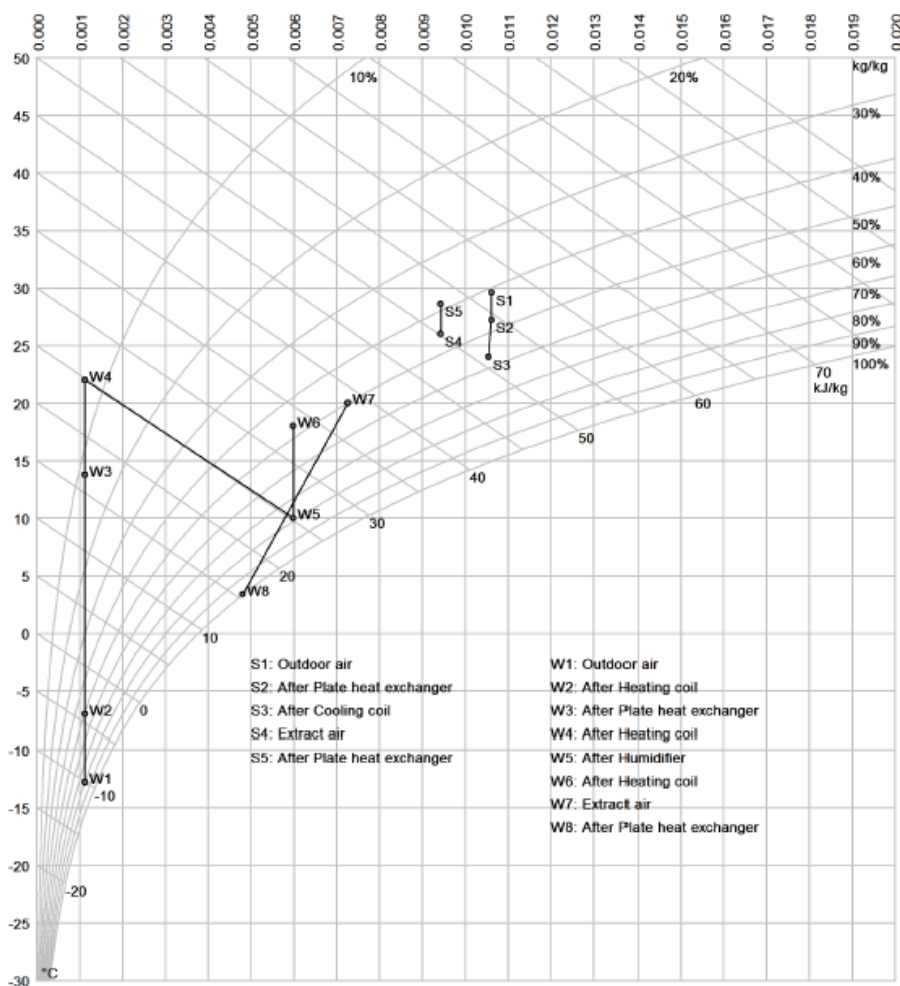
Hladnjak:

- protok dobavnog zraka: 10595 m³/h
- pad tlaka dobavnog zraka na suhim cijevima: 59 Pa
- pad tlaka dobavnog zraka na mokrim cijevima: 62 Pa
- brzina dobavnog zraka kroz hladnjak: 2,7 m/s
- temperatura dobavnog zraka prije/nakon: 27,2 / 24 °C
- relativna vlažnost dobavnog zraka prije/nakon: 47 / 57 %
- rashladni učin: 12,3 kW
- rashladni medij: voda
- temperatura vode ulaz/izlaz: 7 / 12 °C
- protok vode: 0,58 l/s
- pad tlaka vode: 24,3 kPa
- materijal cijevi: Cu

8.2.3. Prikaz procesa u h-x dijagramu za zimu i ljeto

Na Slici 10 prikazan je proces obrade vanjskog zraka za ventilaciju za zimu i ljeto.

U zimi proces prikazuje predgrijavanje struje vanjskog zraka iz točke W1 u točku W2 zbog sprječavanja prevelikog pothlađivanja izlazne odsisne struje iz rekuperatora što je objašnjeno u potpoglavlju 8.2.1. Zatim slijedi zagrijavanje u rekuperatoru od točke W2 do točke W3 i dogrijavanje od točke W3 do točke W4 što se radi zbog naknadnog ovlaživanja struje vanjskog zraka vodom od točke W4 do točke W5 kako bi se postigao željeni sadržaj vlage zraka. Nakon ovlaživanja kondicionirani zrak se zagrijava od točke W5 do točke W6 na temperaturu ubacivanja. U ljeti proces uključuje obradu vanjskog zraka hlađenjem u rekuperatoru od točke S1 do točke S2 i naknadnim hlađenjem od točke S2 do temperature ubacivanja S3.

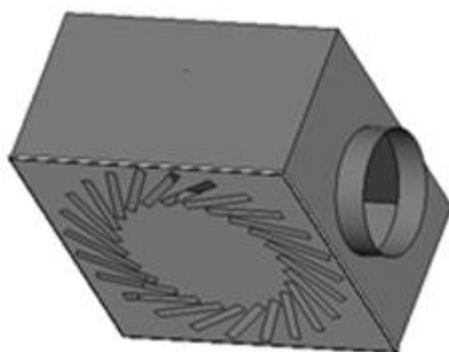


Slika 10. Prikaz procesa pripreme zraka za ventilaciju – Zima/Ljeto

8.3. Odabir istrujnih otvora

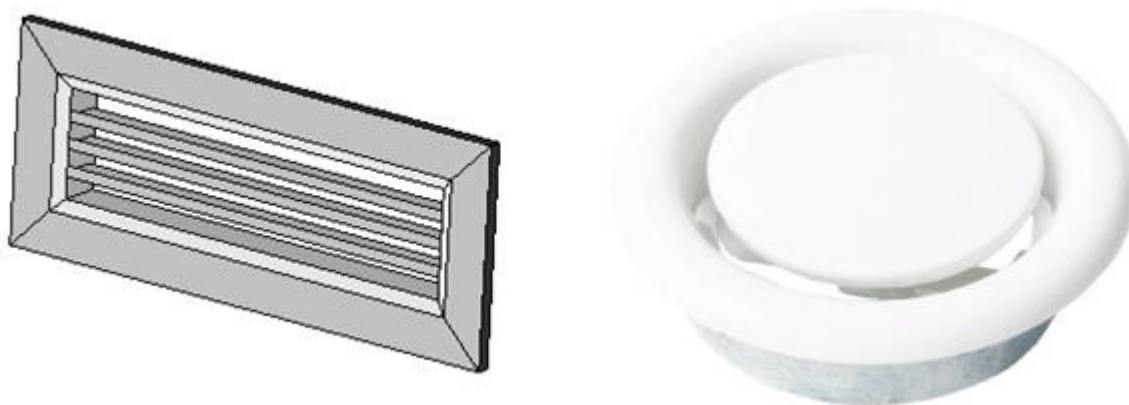
Istrujni otvori dobave i odsisa su odabrani preko tablica iz kataloga i računalnog programa AURA proizvođača Klimaopreme [15].

Dobava svježeg zraka provodit će se preko difuzora s podesivim elementima tipa DEV (Slika 11).



Slika 11. DEV difuzor zraka [15]

Odsis potrošenog zraka prema klimatizacijskoj jedinici provodit će se ventilacijskim rešetkama tipa OAB, dok će se odsis zraka iz prostora sanitarija provodit zračnim ventilima tipa ZOV (Slika 12).



Slika 12. OAB ventilacijska rešetka (lijevo) i ZOV zračni ventil (desno) [15]

8.4. Odabir regulatora varijabilnog protoka

U svrhu smanjenja potrošnje energije, u vremenu kada ljudi izađu iz promatrane prostorije, ugrađuju se regulatori varijabilnog protoka u dobavnim granama ventilacijskih kanala tih prostorija.

Regulatori varijabilnog protoka povezani su s CO₂ osjetnicima koji su postavljeni u prostorijama i u skladu s brojem ljudi koji borave unutar prostora variraju protok dobavnog zraka između minimuma i nazivnog protoka.

Za ovu zgradu su odabrani regulatori varijabilnog protoka tipa RVP-C proizvođača Klimaopreme (Slika 13).



Slika 13. Regulator varijabilnog protoka - tip RVP-C [15]

8.5. Odsisna ventilacija sanitarnih prostorija

Odsisni zrak iz sanitarnih prostorija ne ide prema klimatizacijskoj jedinici, već se odvodi zasebnim ventilacijskim kanalima. Iz razloga što su sanitarne prostorije svih etaža smještene u istoj vertikalnoj ravnini, postavljen je glavni vertikalni vod u prostor sanitarija koji odvodi ukupni odsis prostorija sanitarija prema ispuhu smještenom na ravnom krovu. Na odsisnoj grani svake etaže je postavljen zasebni ventilator, koji izbacuje zrak s te etaže i nepovratna zaklopka kojom se sprječava povratno strujanje zraka u prostor sanitarija.

Odsisni ventilatori su povezani s prekidačima za svjetlo u prostorijama sanitarija kojima se regulira njihovo pokretanje i zaustavljanje.

Za odsisne ventilatore odabrani su kanalski ventilatori tipa RK i nepovratne zaklopke tipa ZPC proizvođača Klimaoprema (Slika 14).



Slika 14. ZPC nepovratna zaklopka (lijevo) i RK kanalski ventilator (desno) [15]

8.6. Dimenzioniranje ventilacijskih kanala

Kritična dionica dobavnog zraka (Od klimatizacijske jedinice do prostorije P1 – prizemlje)

Dionica	L	V	V	a	b	d _{ekv}	A'	v'	R	RL	Σζ	Z	RL+Z
	m	m ³ /h	l/s	mm	mm	mm	m ²	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	7,4	10595	2943,1	900	450	685,5	0,369	7,97	0,8	5,92	1	38,15	44,07
2	3,6	6990	1941,7	700	550	677,1	0,360	5,39	0,4	1,44	1,8	31,41	32,85
3	4	6850	1902,8	700	550	677,1	0,360	5,28	0,39	1,56	0	0,00	1,56
4	4,1	5800	1611,1	700	550	677,1	0,360	4,47	0,3	1,23	1,3	15,62	16,85
5	3,3	5695	1581,9	700	550	677,1	0,360	4,39	0,29	0,96	0	0,00	0,96
6	1,5	5590	1552,8	700	550	677,1	0,360	4,31	0,28	0,42	0	0,00	0,42
7	2,5	5450	1513,9	700	550	677,1	0,360	4,20	0,28	0,70	0	0,00	0,70
8	3,6	4060	1127,8	700	450	609,8	0,292	3,86	0,27	0,97	1,05	9,39	10,36
9	2,9	2670	741,7	600	400	532,8	0,223	3,33	0,23	0,67	0,13	0,86	1,53
10	4,5	1280	355,6	350	350	382,6	0,115	3,09	0,27	1,22	0,39	2,24	3,45
11	2,3	760	211,1	-	-	300	0,071	2,99	0,4	0,92	2,17	11,61	12,53
12	7,1	560	155,6	-	-	300	0,071	2,20	0,2	1,42	3,42	9,94	11,36
												+	40
												Σ	176,64

Tablica 22. Kritična dionica dobavnog zraka

Kritična dionica odsisnog zraka (Od klimatizacijske jedinice do prostorije P1 – prizemlje)

Dionica	L	V	V	a	b	d _{ekv}	A'	v'	R	RL	Σζ	Z	RL+Z
	m	m ³ /h	l/s	mm	mm	mm	m ²	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	3,2	560	155,6	-	-	300,0	0,071	2,20	0,21	0,67	0,26	0,76	1,43
2	4,1	980	272,2	-	-	350,0	0,096	2,83	0,3	1,23	1,19	5,72	6,95
3	3,5	1080	300,0	350	350	382,6	0,115	2,61	0,22	0,77	2,21	9,03	9,80
4	2,9	2270	630,6	500	400	488,1	0,187	3,37	0,28	0,81	2,23	15,19	16,00
5	4,6	3460	961,1	600	400	532,8	0,223	4,31	0,39	1,79	1,26	14,05	15,84
6	2,7	4650	1291,7	600	500	598,1	0,281	4,60	0,34	0,92	0,57	7,23	8,15
7	0,5	4755	1320,8	600	500	598,1	0,281	4,70	0,34	0,17	0,03	0,40	0,57
8	6,7	4895	1359,7	600	500	598,1	0,281	4,84	0,35	2,35	0,03	0,42	2,77
9	4,6	6085	1690,3	700	550	677,1	0,360	4,69	0,33	1,52	2,05	27,11	28,63
10	6,6	9690	2691,7	900	450	685,5	0,369	7,29	0,63	4,16	1,08	34,46	38,62
												Σ	128,75

Tablica 23. Kritična dionica odsisnog zraka

U proračun dobavnog zraka kritične dionice dodan je pad tlaka istrujnog otvora od 40 Pa, što se vidi u Tablici 22, a ostali otpori u dobavi i odsisu uključeni su putem lokalnih otpora. Dionice su projektirane da se ne prelazi brzina od 5 m/s u glavnim kanalima i 3 m/s u ograncima prema prostorijama [6]. Padovi tlaka izračunati u Tablici 22 i Tablici 23 uključeni su u program SystemairCAD pri izboru odgovarajuće klimatizacijske jedinice.

	Ventilator za dobavu zraka	Ventilator za odsis zraka
Protok zraka [m^3/h]	10595	9690
Eksterni pad tlaka [Pa]	177	129
Ukupni pad tlaka [Pa]	1167	674
Električna snaga [kW]	5,5	3

Tablica 24. Tehničke karakteristike ventilatora klimatizacijske jedinice Danvent DV40

Dimenzioniranje kanala odsisnog zraka iz prostora sanitarija

Dionica	L	V	V	d	A	v	R	RL	$\sum \zeta$	Z	RL+Z
	m	m^3/h	l/s	mm	m^2	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	2,33	70	19,4	100,0	0,008	2,48	1	2,33	0,21	0,77	3,10
2	2,3	140	38,9	150	0,018	2,20	0,48	1,10	0,25	0,73	1,83
3	4,53	210	58,3	200	0,031	1,86	0,3	1,36	0,32	0,66	2,02
4	2,93	210	58,3	250	0,049	1,19	0,1	0,29	1,5	1,27	1,56
5	2,93	210	58,3	250	0,049	1,19	0,1	0,29	2,03	1,72	2,01
6	2,93	210	58,3	250	0,049	1,19	0,1	0,29	2,03	1,72	2,01
7	2	211	58,6	251	0,049	1,18	1,1	2,20	0,11	0,09	2,29
										\sum	14,84

Tablica 25. Pad tlaka dionice otpadnog zraka iz prizemlja

Prikazano u Tablici 25 izračunat je pad tlaka dionice odsisnog zraka iz prizemlja, na isti način proveden je proračun pada tlaka otpadne dionice sanitarija na prvoj, drugoj i trećoj etaži čime je odabran kanalski ventilator RK 125 za ugradnju u prostorije sanitarija svake etaže.

Nakon ventilatora potrebno je ugraditi nepovratnu zaklopku tipa ZPC kako bi se spriječilo povratno strujanje odsisnog zraka.

Tehničke karakteristike ventilatora RK 125 prikazane su u Tablica 26.

V_{\max} [m^3/h]	P_{\max} [W]	Δp_{stat} [Pa]
250	70	100

Tablica 26. Tehničke karakteristike ventilatora RK 125

9. Dimenzioniranje sustava grijanja, hlađenja te pripreme potrošne tople vode

9.1. Odabir kotla

Prema potrebnoj toplinskoj energiji izvora topline izračunatoj u Poglavlju 7. odabire se kotao na drvene pelete marke Hoval, tip Biolyt 160 nazivne toplinske snage 156 kW.



Slika 15. Prikaz kotla Hoval Biolyt 160 [11]

Tehničke karakteristike [11]:

- nazivni učin: 156 kW
- raspon toplinskog učin: 43-156 kW
- maksimalna dopuštena radna temperatura: 85 °C
- minimalna dopuštena radna temperatura: 60 °C
- minimalna temperatura povrata vode: 45 °C
- temperatura dimnih plinova pri nazivnom učinku: 185 °C
- temperatura dimnih plinova pri minimalnom učinku: 100 °C
- učinkovitost kotla pri nazivnom učinku: >90 %
- volumen vode unutar kotla: 360 l

Za pravilan rad kotla, uzimajući u obzir promjenjivost potrošnje toplinske energije od strane potrošača, ugrađen je „buffer“ spremnik volumena 3000 l tip LCA P 3000 proizvođača ACV.



Slika 16. „Buffer“ spremnik sustava grijanja – tip LCA P 3000 [16]

Kotao na pelete ugrađen je u kontejner na ravnom krovu, zajedno s „buffer“ spremnikom te razdjelnicima i pumpama. Temperaturni režim kruga grijanja je 45/40°C, a kruga dogrijavanja potrošne tople vode i grijača klimatizacijske jedinice 80/60°C.

9.2. Odabir rashladnika vode

Za dimenzioniranje rashladnika vode treba zbrojiti ukupno toplinsko opterećenje (Tablica 13) s toplinskim opterećenjem hladnjaka klimatizacijske jedinice izračunatom u poglavlju 8:

$$\phi_{izvor} \geq \phi_{em} + \phi_{hl} = 120,2 + 12,3 = 132,5 \text{ kW} \quad (2)$$

Odabran je zrakom hlađen rashladnik vode ECOFRIO v2 model YLCA 150 T-TP nazivnog rashladnog učina 151 kW proizvođača York.

Rashladnik vode je predviđen za vanjsku ugradnju te će se ugraditi na ravni krov poslovne zgrade. Temperaturni režim hlađenja je 7/12°C.



Slika 17. Prikaz rashladnika vode modela YLCA [10]

Tehničke karakteristike [10]:

- kapacitet hlađenja: 151 kW
- EER: 2,8
- ESEER: 3,6
- regulacija kapaciteta: 0-25-50-75-100
- tip kompresora: scroll
- količina kompresora: 4
- visina / širina / dužina: 2263 / 1101 / 3770 mm

Rashladnik vode dolazi s ugrađenim hidromodulom u standardnoj opremi koji obuhvaća međuspremnik rashladne vode i ekspanzijsku posudu kruga hlađenja [10].

9.3. Odabir ventilokonvektora

Za ogrjevna / rashladna tijela odabrani su ventilokonvektori Divio 700 i Divio 900 proizvođača Ciat.

Tehničke karakteristike ventilokonvektora u režimu grijanja su prikazane za temperaturni režim 45/40°C (Tablica 27).

	Divio 700	Divio 900
Kapacitet grijanja [W]	690	1380
Protok vode [l/h]	119	241
Pad tlaka [kPa]	4,8	4,6

Tablica 27. Tehničke karakteristike Divio ventilokonvektora za grijanje [17]

Tehničke karakteristike ventilokonvektora u režimu hlađenja su prikazane za temperaturni režim 7/12°C (Tablica 28).

	Divio 700	Divio 900
Kapacitet hlađenja [W]	870	1820
Protok vode [l/h]	150	310
Pad tlaka [kPa]	7,6	8,9

Tablica 28. Tehničke karakteristike Divio ventilokonvektora za hlađenje [17]



Slika 18. Ventilokonvektor - tip Divio [17]

9.4. Odabir solarnih kolektora te spremnika PTV-a

Priprema potrošne tople vode provodi se solarnim sustavom uz potporu sustava grijanja za vrijeme kad solarni sustav ne može dovesti dovoljnu količinu toplinske energije. Odabrani su pločasti solarni kolektori auroTHERM VFK 145 V proizvođača Vaillant (Tablica 29 i Slika 19). Odabire se 14 solarnih kolektora ukupne osunčane površine 32,9 m², za ugradnju pod nagibom od 45° na južnoj strani ravnog krova promatrane zgrade.

Neto površina kolektora - A [m ²]	2,35
Učinkovitost - η_0 [-]	0,79
Koeficijent prvog reda - a_1	3,72
Koeficijent drugog reda - a_2	0,016
Modifikator ulaznog kuta zračenja IAM	0,91

Tablica 29. Tehničke karakteristike solarnog kolektora auroTHERM VFK 145 V [14]



Slika 19. Solarni kolektor auroTHERM VFK 145 V [14] (lijevo) i spremnik PTV-a LCA 2CO 1500 hh [16] (desno)

Za spremnik potrošne tople vode odabire se LCA 2CO 1500 hh proizvođača ACV volumena 1500 l (Slika 19). Spremnik ima ugrađene dvije izmjenjivačke površine, jednu za solarni krug te drugu za dogrijavanje od sustava grijanja u vremenu kada kolektori ne mogu predati dovoljnu količinu toplinske energije za zagrijavanje PTV-a.

9.5. Pad tlakova cjevovoda i odabir cirkulacijskih pumpi

Iz proračunatih padova tlaka i potrebnih protoka vode odabrane su cirkulacijske pumpe u računalnoj aplikaciji proizvođača Grundfos [21].

9.5.1. Krug grijanja

9.5.1.1. Krug između kotla i „buffera“

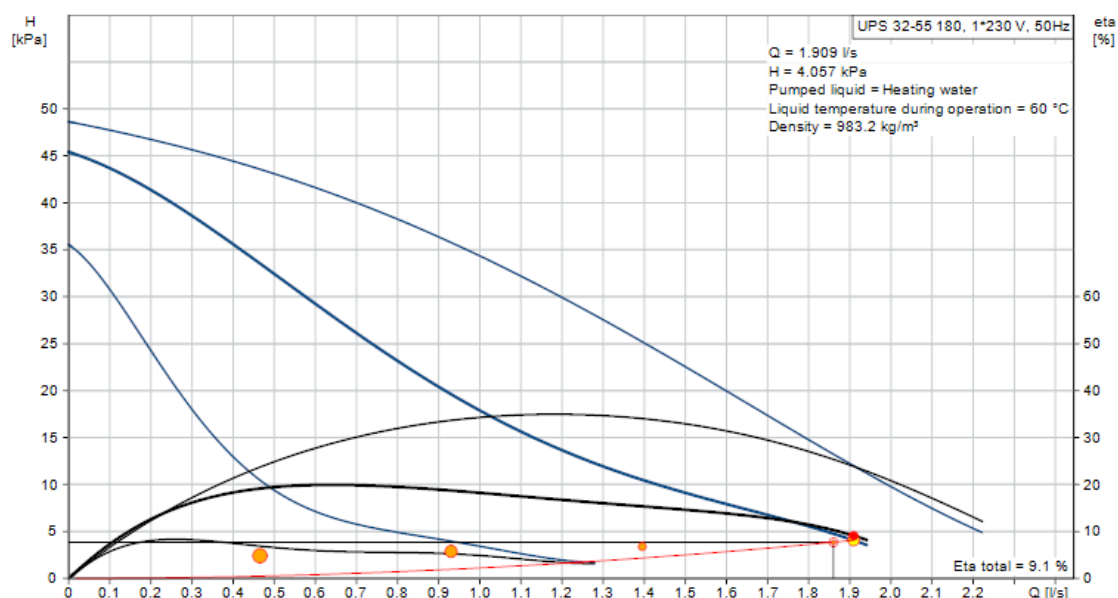
Dionica	L m	Q _{inst} W	m _{cp} kW/K	q _m kg/s	DN mm	du mm	v m/s	R Pa/m	RL Pa	ζ -	Z Pa	RL+Z Pa
1	8,4	156000	7800	1,857	50	51,5	0,9	170	1428	3,5	1417,50	2845,5
								pad tlaka kotla			+	1000
											Σ	3845,5

Tablica 30. Pad tlaka kruga kotla prema „buffer“ spremniku

Iz rezultata danih u Tablici 30 odabire se pumpa UPS 32-55 180 tehničkih karakteristika prikazanih u Tablici 31. Dijagram radne točke pumpe prikazan je na Slici 20.

Protok [l/s]	Visina dobave [m]	Električna snaga [W]
1,9	0,41	43

Tablica 31. Tehničke karakteristike pumpe UPS 32-55 180



Slika 20. Dijagram radne točke pumpe UPS 32-55 180

9.5.1.2. Krug između „buffera“ i izmjenjivača topline spremnika PTV-a

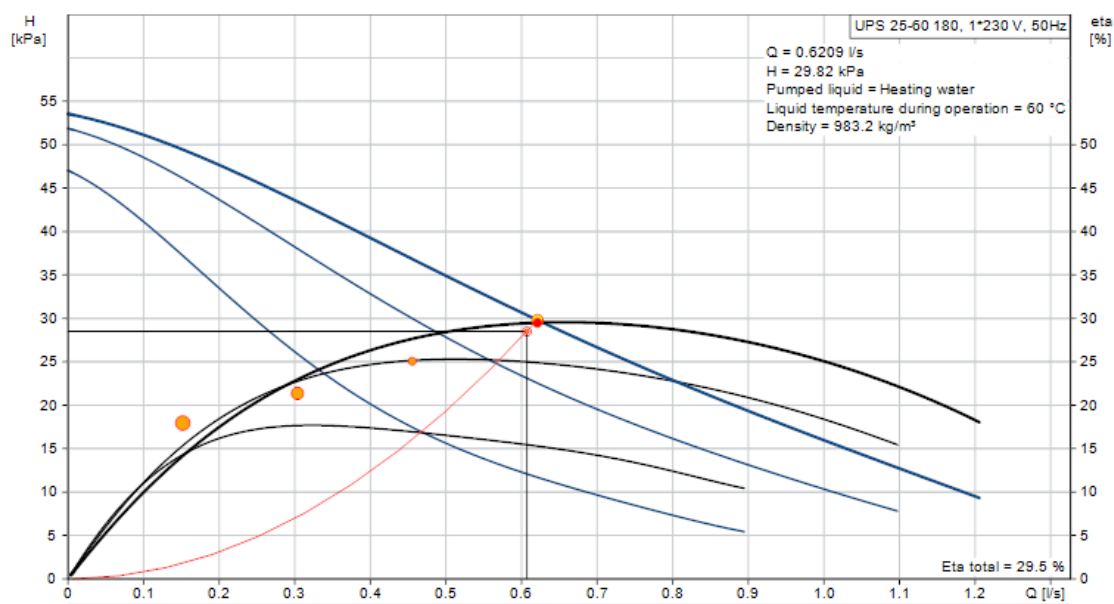
Dionica	L m	Q _{inst} W	m _{cp} kW/K	q _m kg/s	DN mm	du mm	v m/s	R Pa/m	RL Pa	ζ -	Z Pa	RL+Z Pa
1	1,8	51000	2550	0,607	32	35,75	0,6	130	234	1,5	270,00	504
								pad tlaka izmjenjivača			+	28100
											Σ	28504

Tablica 32. Pad tlaka kruga između „buffer“ spremnika i spremnika PTV-a

Iz rezultata danih u Tablici 32 odabire se pumpa UPS 25-60 180 tehničkih karakteristika prikazanih u Tablici 33. Dijagram radne točke pumpe prikazan je na Slici 21.

Protok [l/s]	Visina dobave [m]	Električna snaga [W]
0,62	3,04	41

Tablica 33. Tehničke karakteristike pumpe UPS 25-60 180



Slika 21. Dijagram radne točke pumpe UPS 25-60 180

9.5.1.3. Ventilokonvektori

Kritična dionica cjevovoda kruga grijanja s izračunatim padovima tlaka prema ventilokonvektorima, od razdjelnika kruga grijanja, prikazana je u Tablici 34.

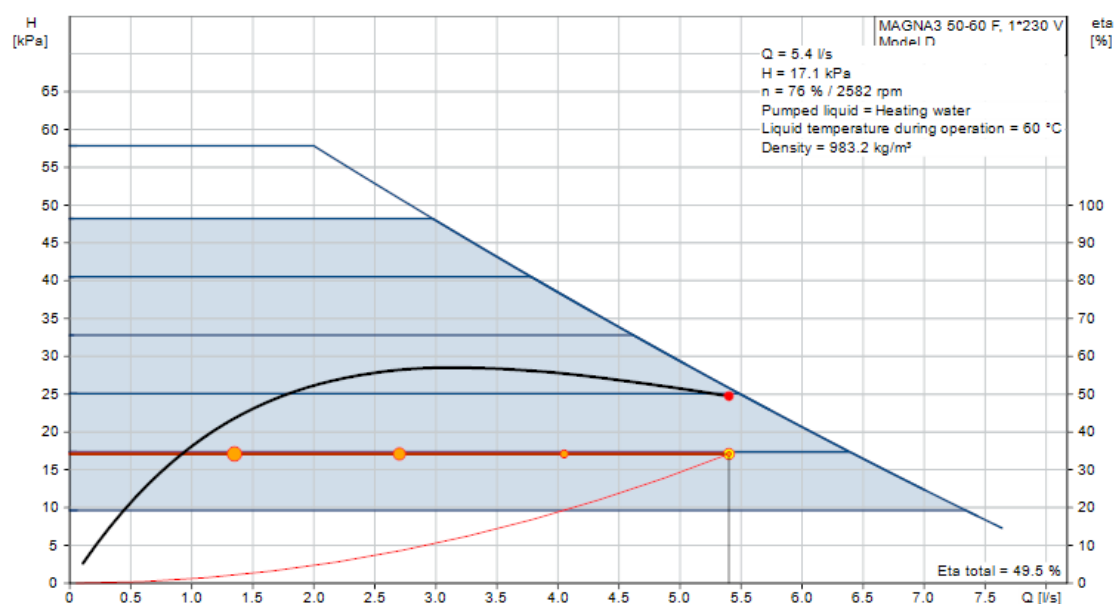
Dionica	L	Q _{inst}	m _{cp}	q _m	DN	du	v	R	RL	ζ	Z	RL+Z
	m	W	kW/K	kg/s	mm	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	13,3	112470	22494	5,356	80	82,5	1	120	1596	2,5	1250,00	2846,00
2	5,86	84870	16974	4,041	80	82,5	0,8	70	410,2	0,5	160,00	570,20
3	5,86	53130	10626	2,530	65	70	0,65	65	380,9	0,5	105,63	486,53
4	7,1	19320	3864	0,920	50	51,25	0,46	45	319,5	4	423,20	742,70
5	3,6	15870	3174	0,756	50	51,25	0,36	30	108	4,5	291,60	399,60
6	1,88	15180	3036	0,723	50	51,25	0,36	28	52,64	0,5	32,40	85,04
7	9	7590	1518	0,361	32	35,75	0,36	50	450	0,5	32,40	482,40
8	8,84	6900	1380	0,329	32	35,75	0,34	40	353,6	0,5	28,90	382,50
9	21,84	5520	1104	0,263	32	35,75	0,28	28	611,52	5	196,00	807,52
10	3,66	4830	966	0,230	32	35,75	0,24	22	80,52	3,5	100,80	181,32
11	8,96	4140	828	0,197	25	27	0,36	65	582,4	0,5	32,40	614,80
12	11,2	2760	552	0,131	25	27	0,24	30	336	1,5	43,20	379,20
13	5,84	1380	276	0,066	20	21,25	0,19	28	163,52	1	18,05	181,57
							pad tlaka ventilokonvektora				+	8900
											Σ	17059,38

Tablica 34. Pad tlaka kritične dionice kruga grijanja ventilokonvektora

Iz rezultata danih u Tablici 34 odabire se pumpa MAGNA3 50-60F tehničkih karakteristika prikazanih u Tablici 35. Dijagram radne točke pumpe prikazan je na Slici 22.

Protok [l/s]	Visina dobave [m]	Električna snaga [W]
5,4	1,74	187

Tablica 35. Tehničke karakteristike pumpe MAGNA3 50-60F



Slika 22. Dijagram radne točke pumpe MAGNA3 50-60F

9.5.1.4. Pad tlaka grijača klimatizacijske jedinice (kritična dionica)

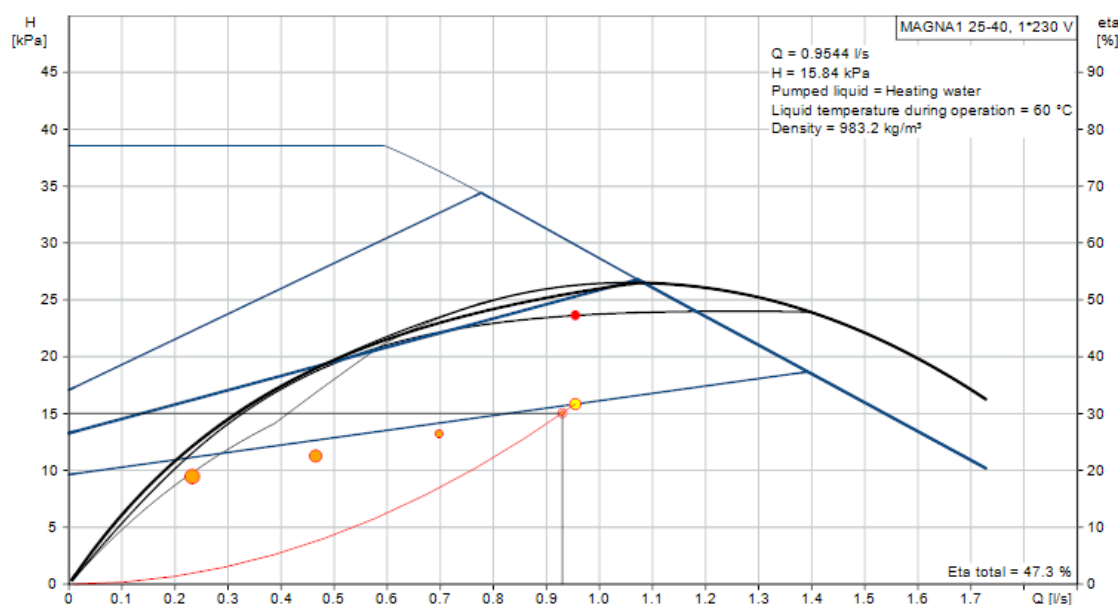
Dionica	L m	Q _{inst} W	mcp kW/K	qm kg/s	DN mm	du mm	v m/s	R Pa/m	RL Pa	ζ -	Z Pa	RL+Z Pa
7,94	78100	3905	0,930	40	41,25	0,75	150	1191	4	1125,00	2318,00	7,94
2,1	29200	1460	0,348	25	27	0,65	190	399	2	422,50	821,50	2,1
								pad tlaka predgrijača			+	11900
												15039,50

Tablica 36. Pad tlaka kruga grijača klimatizacijske jedinice

Iz rezultata danih u Tablici 36 odabire se pumpa MAGNA1 25-40 tehničkih karakteristika prikazanih u Tablici 37. Dijagram radne točke pumpe prikazan je na Slici 23.

Protok [l/s]	Visina dobave [m]	Električna snaga [W]
0,95	1,61	32

Tablica 37. Tehničke karakteristike pumpe MAGNA1 25-40



Slika 23. Dijagram radne točke pumpe MAGNA1 24-40

9.5.2. Krug hlađenja

9.5.2.1. Ventilokonvektori

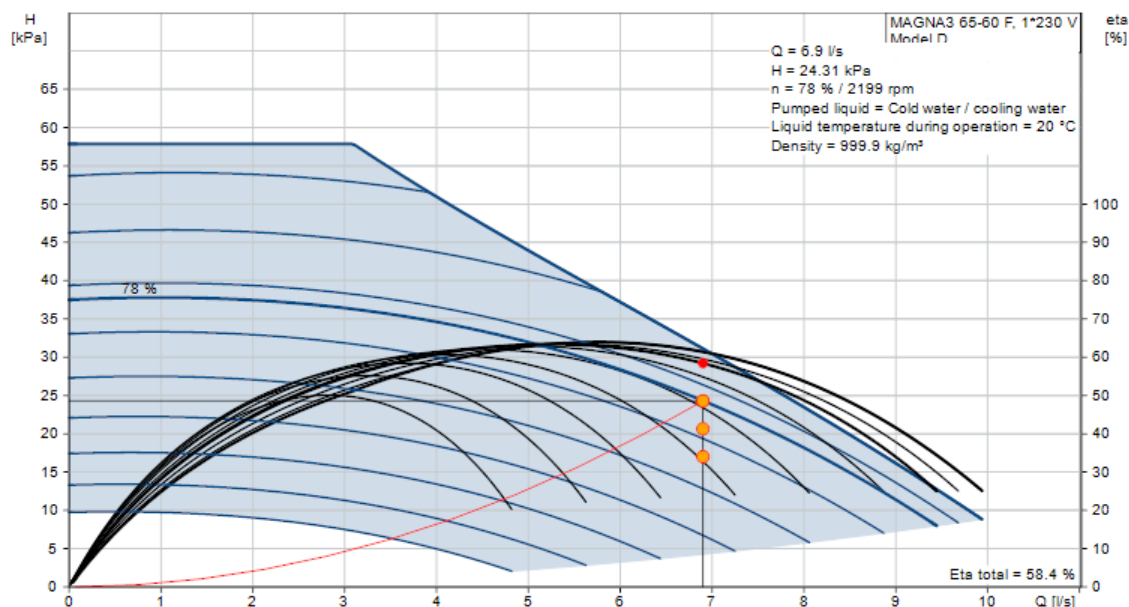
Dionica	L	Q _{inst}	m _{cp}	q _m	DN	du	v	R	RL	ζ	Z	RL+Z
	m	W	kW/K	kg/s	mm	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	20,3	144880	28976	6,899	80	82,5	1,3	190	3857	2,5	2112,50	5969,50
2	5,86	108800	21760	5,181	80	82,5	1	120	703,2	0,5	250,00	953,20
3	5,86	67890	13578	3,233	65	70	0,9	110	644,6	0,5	202,50	847,10
4	7,1	25160	5032	1,198	50	51,25	0,65	90	639	4	845,00	1484,00
5	3,6	20650	4130	0,983	50	51,25	0,55	65	234	4,5	680,63	914,63
6	1,88	19780	3956	0,942	50	51,25	0,5	55	103,4	0,5	62,50	165,90
7	9	9890	1978	0,471	32	35,75	0,48	80	720	0,5	57,60	777,60
8	8,84	9020	1804	0,430	32	35,75	0,44	70	618,8	0,5	48,40	667,20
9	21,84	7200	1440	0,343	32	35,75	0,36	45	982,8	5	324,00	1306,80
10	3,66	6330	1266	0,301	32	35,75	0,32	36	131,76	3,5	179,20	310,96
11	8,96	5460	1092	0,260	25	27	0,48	110	985,6	0,5	57,60	1043,20
12	11,2	3640	728	0,173	25	27	0,3	50	560	1,5	67,50	627,50
13	5,84	1820	364	0,087	20	21,25	0,24	45	262,8	1	28,80	291,60
								pad tlaka ventilokonvektora			+	8900
											Σ	24259,19

Tablica 38. Pad tlaka kritične dionice kruga hlađenja ventilokonvektora

Iz rezultata danih u Tablici 38 odabire se pumpa MAGNA3 65-60F tehničkih karakteristika prikazanih u Tablici 39. Dijagram radne točke pumpe prikazan je na Slici 24.

Protok [l/s]	Visina dobave [m]	Električna snaga [W]
6,9	2,48	287

Tablica 39. Tehničke karakteristike pumpe MAGNA3 65-60F



Slika 24. Dijagram radne točke pumpe MAGNA3 65-60F

9.5.2.2. Hladnjak klimatizacijske jedinice

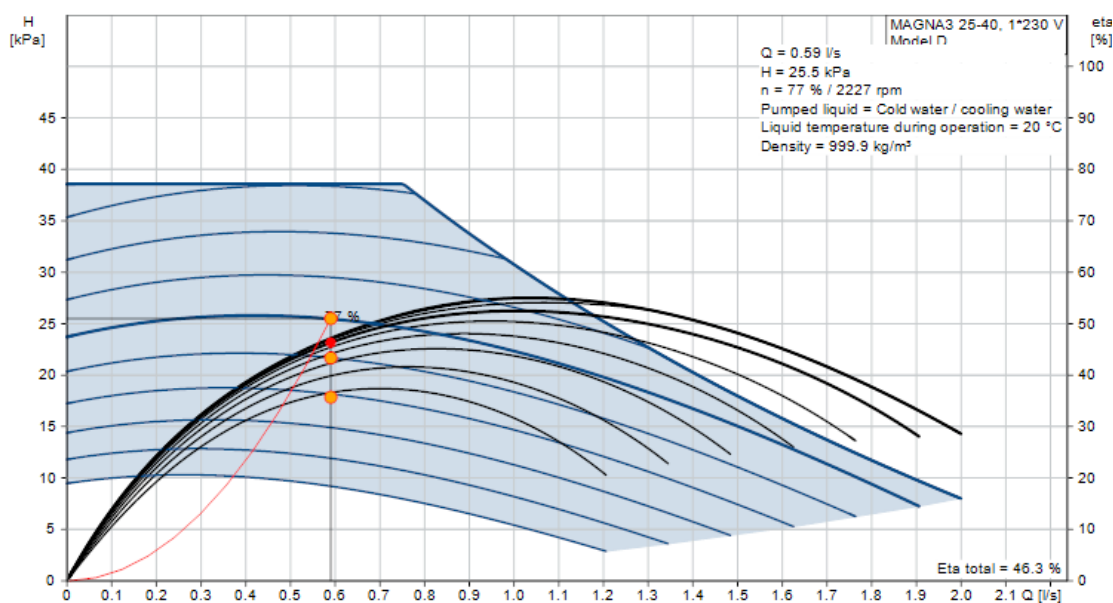
Dionica	L	Qinst	mcp	qm	DN	du	v	R	RL	ζ	Z	RL+Z
	m	W	kW/K	kg/s	mm	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	16	12300	2460	0,586	40	41,25	0,46	60	960	2	211,60	1171,6
									pad tlaka hladnjaka		+	24300
												25471,6

Tablica 40. Pad tlaka kruga hladnjaka klimatizacijske jedinice

Iz rezultata danih u Tablici 40 odabire se pumpa MAGNA3 25-40 tehničkih karakteristika prikazanih u Tablici 41. Dijagram radne točke pumpe prikazan je na Slici 25.

Protok [l/s]	Visina dobave [m]	Električna snaga [W]
0,59	2,6	32

Tablica 41. Tehničke karakteristike pumpe MAGNA3 25-40

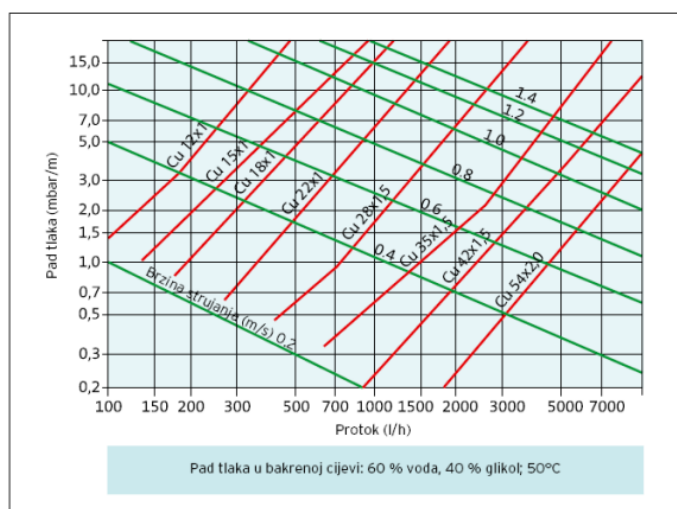


Slika 25. Dijagram radne točke pumpe MAGNA3 25-40

9.5.3. Krug solarnih kolektora

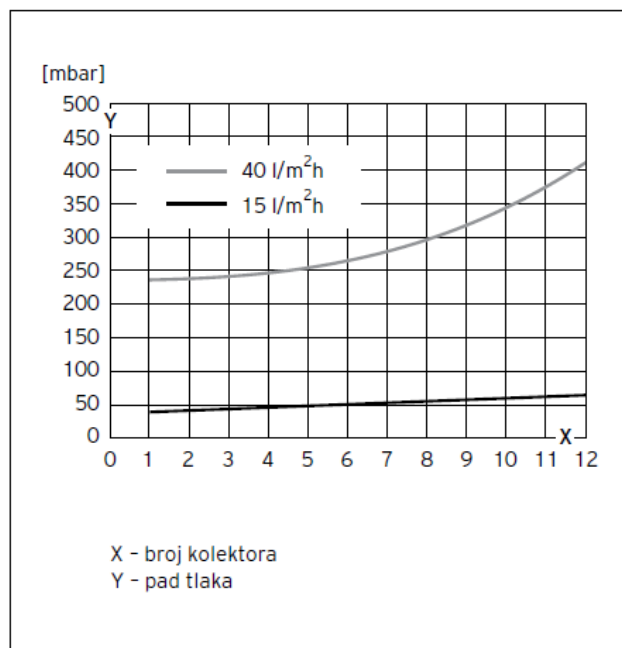
Pad tlaka i odabir pumpe solarnog kruga proveden je proračunom iz podataka dobivenih od proizvođača solarnih kolektora Vaillant VFK 145 V [13].

Odabrani volumni protok vode kroz kolektore je 15 l/(h·m²kolektora) [12], broj ugrađenih kolektora je 14 i ukupna duljina cjevovoda solarnog kruga iznosi 51,3 m. Neto površina postavljenih kolektora iznosi 32,9 m². Postavljene su bakrene cijevi dimenzije Cu $\phi 22 \times 1$ mm (Slika 26).



Slika 26. Pad tlaka cjevovoda solarnog kruga [13]

Sa Slike 26 očitana je vrijednost pada tlaka cjevovoda koja iznosi 1,75 mbar/m što za duljinu od 51,3 m daje ukupnu vrijednost 89,9 mbar tj. 9 kPa. Ova vrijednost treba se povećati za oko 50 % [13] kako bismo time uzeli u obzir utjecaj armature i koljena u instalaciji čime se dobije konačna vrijednost od 13,5 kPa .



Slika 27. Pad tlaka na kolektorima [13]

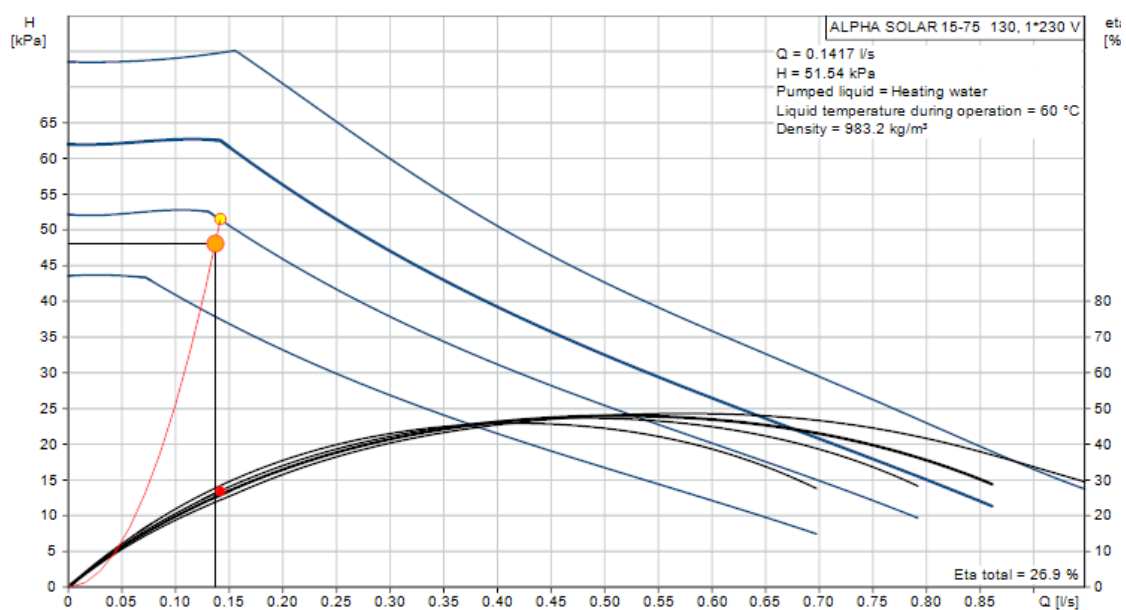
Sa Slike 27 očitana je vrijednost pada tlaka od 50 mbar, tj. 5 kPa na kolektorima. Po preporuci proizvođača treba uzeti dodatak za spojne vodove u kolektorskom polju u iznosu od 30% [13] čime se vrijednost povećava na 6,5 kPa.

Vrijednost pada tlaka na cjevovodu i kolektorima iznosi $13,5 + 6,5 \text{ kPa} = 20$. Ukupni pad tlaka solarnog kruga dobiva se kada se na ovu vrijednost zbroji pad tlaka izmjenjivača topline spremnika potrošne tople vode koji iznosi 28,1 kPa [16] čime se dobije konačna vrijednost od 48,1 kPa.

Iz rezultata dobivenih ovim proračunom odabire se pumpa ALPHA SOLAR 15-75 130 proizvođača Grundfos (Tablica 42). Dijagram radne točke pumpe prikazan je na Slici 28.

Protok [l/s]	Visina dobave [m]	Električna snaga [W]
0,14	5,2	27

Tablica 42. Tehničke karakteristike pumpe ALPHA SOLAR 15-75 130



Slika 28. Dijagram radne točke pumpe ALPHA SOLAR 15-75 130

9.6. Odabir ekspanzijskih posuda

9.6.1. Krug grijanja

Određivanje zapremine ekspanzijske posude je prema [18]:

$$V_{n,min} = (V_e + V_v) \cdot \frac{p_e + 1}{p_e - p_0} \quad (2)$$

gdje je:

- $V_{n,min}$ = minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude [lit]
- V_e = volumen širenja vode u litrama izazvan povišenjem temperature vode od 10°C do maksimalne temperature polaznog voda [lit]
- V_v = dodatni volumen (zaliha) – oko 0,5% volumena vode u instalaciji, min. 3 litre
- p_e = projektni krajnji tlak, povezan s točkom otvaranja sigurnosnog ventila
- p_0 = primarni tlak ekspanzijske posude

Ulazni podaci:

- n (80°C) = 2,88
- V_A = 3798 l (volumen vode u cijevima, ventilokonvektorima te predgrijaču, grijaču i dogrijaču klimatizacijske jedinice)
- V_v = 19 l
- p_e = 2,5 bar (tlak sigurnosnog ventila iznosi 3 bar)
- p_0 = 1,3 bar (visina instalacije iznad ekspanzijske posude do 10 m te dodatak od 3 m)
-

$$V_e = \frac{n \cdot V_A}{100} = \frac{2,88 \cdot 3798}{100} = 109,4 \text{ l} \quad (3)$$

$$V_{n,min} = (109,4 + 19) \cdot \frac{2,5 + 1}{2,5 - 1,3} = 374,5 \text{ l} \quad (4)$$

Odabrana je ekspanzijska posuda volumena 400 l proizvođača Varem, model MAXIVAREM LR 400 [22].

9.6.2. Krug hlađenja

Istim postupkom proračuna kao i za krug grijanja uz novu vrijednost faktora n (30°C) $= 0,37$, te vrijednost $V_A = 743,6 \text{ l}$ (volumen vode u cijevima, ventilokonvektorima i hladnjaku klimatizacijske jedinice) izračunato je :

$$V_e = \frac{n \cdot V_A}{100} = \frac{0,37 \cdot 743,6}{100} = 2,8 \text{ l} \quad (5)$$

$$V_{n,min} = (2,8 + 3,7) \cdot \frac{2,5 + 1}{2,5 - 1,3} = 18,9 \text{ l} \quad (6)$$

Budući da rashladnik vode YLCA 150 T-TP već ima integriranu ekspanzijsku posudu kapaciteta 35 l time je kapacitet za ekspanziju vode zadovoljen [10].

9.6.3. Krug solarnih kolektora

Broj pločastih kolektora VFK 125 VFK 145	Statička visina u m									
	10			20			30			
	Duljina cjevovoda u m									
	30	40	50	40	50	60	60	70	80	
2	18	18	18	18	18	25	35	35	35	
3	25	25	25	25	25	25	50	50	50	
4	25	25	25	35	35	35	50	50	50	
5	35	35	35	50	50	50	80	80	80	
6	50	50	50	80	80	80	100	100	100	
7	80	80	80	80	80	80	118	118	118	
8	80	80	80	80	80	80	118	118	118	
9	80	80	80	118	118	118	180	180	180	
10	100	100	100	118	118	118	180	180	180	
11	100	100	100	125	125	125	200	200	200	
12	118	118	118	150	150	150	218	218	218	
13	118	118	118	180	180	180	235	235	235	
14	125	125	125	180	180	180	250	250	250	

Osnova za izračun: Do 4 kolektora - Cu 18 x 1; 5 - 8 kolektora - Cu 22 x 1; 9 - 14 kolektora - Cu 28 x 1,5; Tlak punjenja
 $p = h \times 0,1 + 0,5 \text{ bar}$

Slika 29. Preporučeni volumeni ekspanzijskih posuda za solarni kolektor VFK 145 V [13]

Po preporuci proizvođača Vaillant, za odabrani solarni kolektor VFK 145 V te za broj instaliranih kolektora 14 i duljinu cjevovoda 51,3 m, odabire se min. vrijednost volumena ekspanzijske posude od 125 l (Slika 24). U sustav će se ugraditi ekspanzijska posuda volumena 150 l proizvođača Varem, model SOLARVAREM 150 [22].

10. Tehnički opis

Ovim radom izrađeno je projektno rješenje sustava grijanja, hlađenja, ventilacije i pripreme potrošne tople vode poslovne zgrade, za klimatsku zonu grada Zagreba.

Provedena je usporedba sustava grijanja između kotla na prirodni plin, kotla na biomasu te dizalice topline tlo-voda i odabrano optimalno rješenje preko investicijskih i pogonskih troškova.

Zgrada se sastoji od 4 etaže, a iznad zadnje etaže smješten je ravni krov koji se koristi za ugradnju opreme.

10.1. Sustav grijanja

Sustav grijanja je izveden kao centralni korištenjem kotla na drvene pelete tipa Biolyt 160 proizvođača Hoval, nazivne toplinske snage 156 kW. Temperaturni režim kotla na biomasu je 80/60°C.

Ogrjevnja tijela su ventilokonvektori postavljeni unutar prostora koji rade s temperaturnim režimom 45/40°C. Postavljena su dva modela ventilokonvektora tip Divio 700 i Divio 900 proizvođača Ciat koji su ugrađeni u skladu s izračunatim toplinskim gubicima zgrade.

Kotao je smješten na ravnom krovu unutar kontejnera zajedno s „buffer“ spremnikom, spremnikom potrošne tople vode i razdjelnicima sustava grijanja.

„Buffer“ spremnik osigurava dovoljnu količinu ogrjevnje vode kojom se sprječava često paljenje i gašenje kotla i u tu svrhu je odabran spremnik tipa LCA P 3000 proizvođača ACV.

Kotao služi kao izvor topline i za predgrijač, grijač i dogrijač klimatizacijske jedinice kojom se kondicionira vanjski zrak za pokrivanje ventilacijskog higijenskog minimuma zgrade. Temperaturni režim kruga ogrjevnje vode prema klimatizacijskoj jedinici iznosi 80/60°C.

Što se tiče pripreme potrošne tople vode, kotao služi kao dogrijač u vremenu kada solarni kolektori ne mogu dogrijati vodu na željenu temperaturu.

U povrat kruga grijanja kod kotla ugrađuje se ekspanzijska posuda volumena 400 l.

Regulator kruga grijanja – TopTronicT je povezan na osjetnik vanjske temperature u ovisnosti o kojoj upravlja temperaturom polaza i povrata topline. Regulator također upravlja pumpama primarnog i sekundarnog kruga prema ventilokonvektorima i grijačima klimatizacijske jedinice.

Prema instalacijskim uputama od proizvođača, instaliran je troputni ventil u primarni krug kojime se održava temperatura povrata iznad 45°C kako bi se spriječila pojava kondenzacije unutar kotla. Za cirkulacijsku pumpu primarnog kruga između kotla i „buffer“ spremnika topline ugrađena je pumpa UPS 32-55 180, za krug između buffer spremnika i izmjenjivača topline potrošne tople vode pumpa UPS 25-60 180, za krug grijača klimatizacijske jedinice MAGNA1 25-40 i krug grijanja prostora MAGNA3 50-60F.

10.2. Sustav hlađenja

Sustav hlađenja je također centralni preko zrakom hlađenog rashladnika vode proizvođača York, tip YLCA T-TP 150 rashladnog kapaciteta 151 kW, postavljenog na ravnom krovu. Temperaturni režim kruga hlađenja je $7/12^{\circ}\text{C}$.

Rashladna tijela su ventilokonvektori postavljeni u prostoru zgrade koji rade s temperaturnim režimom $7/12^{\circ}\text{C}$. Odabrani ventilokonvektori tipa Divio prilikom odabira postavljeni su u skladu s proračunom toplinskog opterećenja u sezoni hlađenja kao i toplinskih gubitaka u sezoni grijanja što je napisano u potpoglavlju 10.1.

Rashladnik vode služi kao rashladni izvor za ventilokonvektore i hladnjak klimatizacijske jedinice koji također radi s temperaturnim režimom $7/12^{\circ}\text{C}$.

Krugom hlađenja upravlja regulator μC3 koji upravlja radom zrakom hlađenog rashladnika i pumpama prema ventilokonvektorima i hladnjaku klimatizacijske jedinice.

Za cirkulacijsku pumpu kruga hlađenja prostora odabrana je pumpa MAGNA3 65-60F a prema hladnjaku klimatizacijske jedinice MAGNA3 25-40.

10.3. Sustav ventilacije

Sustav ventilacije ove zgrade služi za pokrivanje ventilacijskog higijenskog minimuma. U tu svrhu proračunata je klimatizacijska jedinica tipa Danvent DV40. Odabrana klimatizacijska jedinica ima ugrađen: predgrijač, grijač, dogrijač, rekuperator i hladnjak. Izvor topline za zagrijavanje struje zraka je kotao na drvene pelete, a kao rashladni izvor za hladnjak služi zrakom hlađen rashladnik vode. Klimatizacijska jedinica ugrađena je na ravnom krovu zajedno s ostalom opremom.

Protok dobavnog vanjskog zraka iznosi $10595\text{ m}^3/\text{h}$, a protok odsisnog zraka $9690\text{ m}^3/\text{h}$.

Dobava zraka se u prostorijama vrši preko istrujnih otvora tipa DEV, a odsis preko zračnih ventila tipa ZOV i OAB ventilacijskih rešetki proizvođača Klimaopreme.

Predgrijač ima kapacitet 20,6 kW i služi za predgrijavanje vanjske struje zraka kako bi se spriječilo zaleđivanje rekuperatora.

Grijač učina 29,2 kW, dogrijač kapaciteta 28,3 kW kao i hladnjak kapaciteta 12,3 kW služe za daljnju pripremu vanjskog zraka u skladu sa željenom točkom ubacivanja. Rekuperator topline ima učin 74,4 kW u sezoni grijanja i kapacitet 8,7 kW u sezoni hlađenja i služi za povrat topline i smanjivanje kapaciteta grijača i hladnjaka potrebnih za kondicioniranje vanjskog zraka. Ovlaživač služi za postizanje odgovarajuće vlažnosti vanjskog zraka u sezoni grijanja kako bi se održala toplinska ugodnost u prostoru. Prostorije sanitarija imaju zasebne ventilacijske kanale i zasebne ventilatore na svakoj etaži kojima se odsisni zrak izbacuje vertikalnim kanalom prema ravnom krovu i u vanjski okoliš. Potrebni volumni protok odsisa sanitarija je 210 m³/h po etaži i u skladu s time su ugrađeni ventilatori tipa RK 125 i iza njih nepovratne zaklopke tipa ZPC proizvođača Klimaopreme kako bi se spriječilo povratno strujanje otpadnog zraka natrag u prostor.

Ventilatori su regulirani prekidačem za svjetlo u prostoru sanitarije kojime se pokreću i zaustavljaju.

Klimatizacijska jedinica ima zasebni regulator AHU koji upravlja radom ventilatora, regulacijskih žaluzina, ovlaživača i regulacijskih ventila grijača i hladnjaka klimatizacijske jedinice kojima se regulira protok ogrjevnog/rashladnog vode kroz njih, odnosno učin.

10.4. Sustav pripreme potrošne tople vode

Za pripremu potrošne tople vode ugrađeni su ravni solarni kolektori tipa auroTHERM VFK 145 V proizvođača Vaillant. Za optimalnu površinu je izračunata vrijednost od 32,9 m² i odabran spremnik od 1500 l tipa LCA 2CO 1500 hh proizvođača ACV.

Solarni kolektori su ugrađeni pod nagibom od 45°.

Solarni spremnik ima ugrađene dvije izmjenjivačke površine, jednu za solarni krug a drugu za krug od kotla kojim se osigurava dogrijavanje potrošne tople vode u vremenu kada solarni krug ne može održavati željenu temperaturu vode u spremniku.

Za cirkulaciju vode solarnog kruga izračunata je i odabrana pumpa ALPHA SOLAR 15-75 130 proizvođača Grundfos, a za ekspanziju vode ekspanzijska posuda SOLARVAREM 150.

Kako je u ovom sustavu priključen i solarni krug za pripremu PTV-a, regulator kruga grijanja upravlja i njime te u ovisnosti o temperaturi spremnika PTV-a regulira rad pumpe solarnog kruga i pumpe kruga grijanja prema dodatnom izmjenjivaču topline u spremniku.

11. Zaključak

Ovim radom obuhvaćeno je projektno rješenje sustava grijanja, hlađenja, ventilacije i pripreme potrošne tople vode uredske zgrade prema klimatskoj zoni grada Zagreba.

Također, bilo je potrebno odabrati optimalan sustav grijanja između kotla na prirodni plin, kotla na biomasu i dizalice topline tlo-voda prema investicijskim i pogonskim troškovima.

Toplinski gubici i toplinsko opterećenje zgrade prema normama HRN EN 12831 i VDI 2078 proračunati su računalnim programom IntegraCAD.

Sustavi grijanja su uspoređeni prema učinkovitosti, isporučenoj energiji i primarnoj energiji putem računalnog programa Ki Expert Plus.

Rezultat izbora optimalnog sustava grijanja pokazao je kako dizalica topline tlo-voda ima najmanje vrijednosti potrebne isporučene energije tj. pogonske troškove i najmanje toplinske gubitke ali višestruko veću cijenu investicije od ostalih sustava grijanja – 8,4 puta veću cijenu investicije od kotla na prirodni plin i 3,3 puta veću cijenu investicije od kotla na biomasu (Tablica 19).

Kotao na prirodni plin ima najmanju cijenu investicije, ali i najveći iznos potrebne primarne energije čime se pokazuje najmanja obnovljivost korištenog izvora energije (Tablica 19).

Kotao na biomasu prema proračunu ima najveću cijenu pogona – 18,6% veću od kotla na prirodni plin i 63,6% veću od cijene pogona dizalice topline ali zato ima najmanju vrijednost potrebne primarne energije – 6,6 puta manji iznos od kotla na prirodni plin i 2,4 puta manji od dizalice topline tlo-voda, što je očekivano zbog drvenih peleta koji su obnovljivi izvor energije (Tablica 19).

Iz provedene analize odabran je kotao na biomasu kao optimalni sustav grijanja.

Za sustav hlađenja odabran je zrakom hlađen rashladnik vode.

Unutar zgrade nije predviđen prostor za kotlovnicu te je iz tog razloga odabran ravni krov kao mjesto za ugradnju opreme.

Za kotao na biomasu te „buffer“ spremnik i kotao za potrošnu toplu vodu je predviđeno postavljanje kontejnera na krovu u koji će se ugraditi kako bi se zaštitili od utjecaja vanjskog okoliša.

Što se tiče potrošne tople vode u tu svrhu ugradit će se ravni pločasti kolektori ukupne neto površine 32,9 m² pod nagibom 45° orijentirani prema jugu te spremnik volumena 1500 l.

Sustavom ventilacije predviđeno je pokrivanje ventilacijskog higijenskog minimuma dok se toplinsko i rashladno opterećenje zgrade pokriva ventilokonvektorima.

Prema broju ljudi i minimalnom broju izmjena zraka prostorija izračunata je vrijednost dobave zraka od 10595 m³/h i odsisa od 9690 m³/h.

Za te vrijednosti je proračunata klimatizacijska jedinica preko računalnog programa SystemairCAD.

Klimatizacijska jedinica sadrži predgrijač, grijač, ovlaživač, hladnjak i rekuperator topline kojima se održava željeno stanje kondicioniranog zraka.

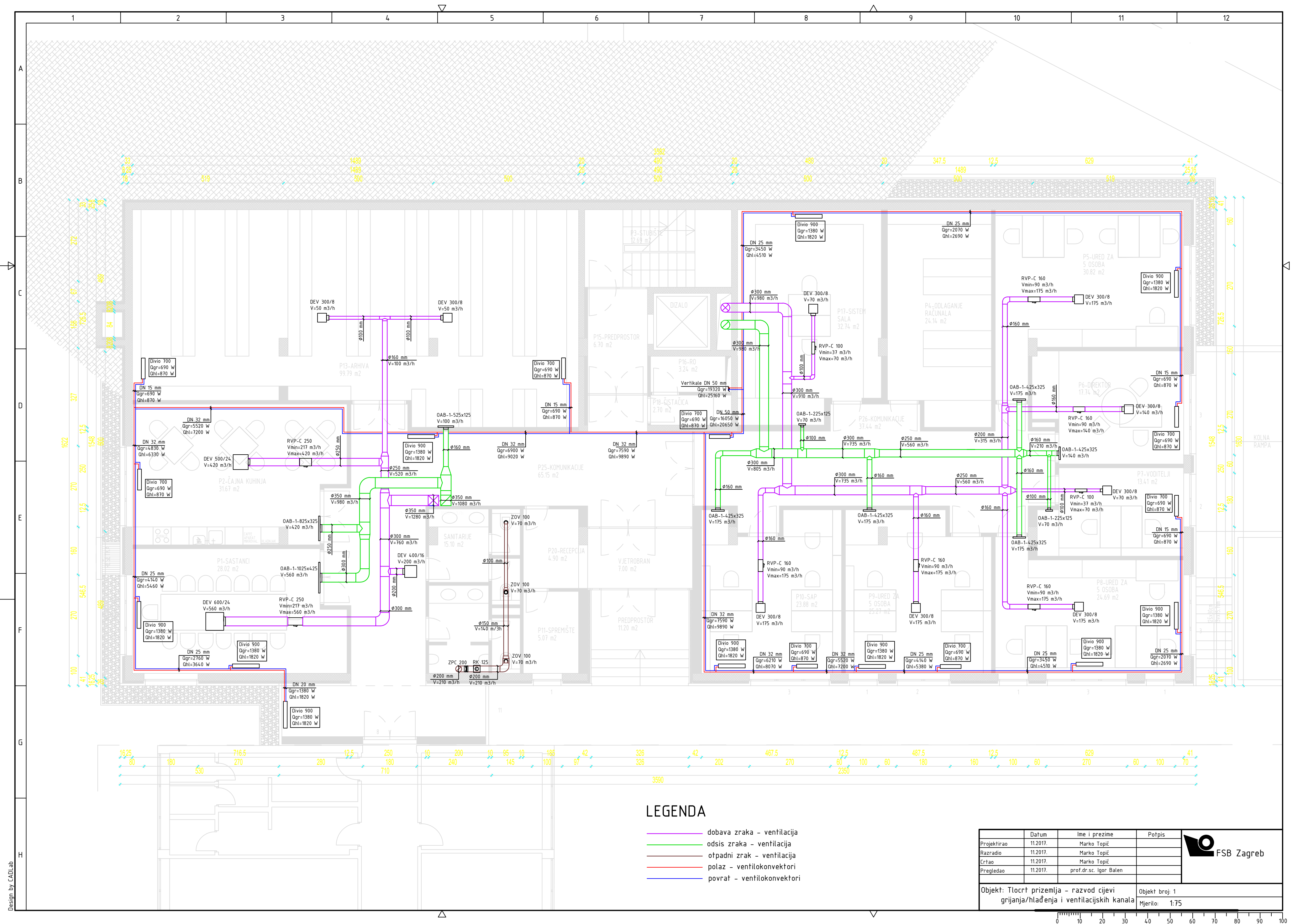
LITERATURA

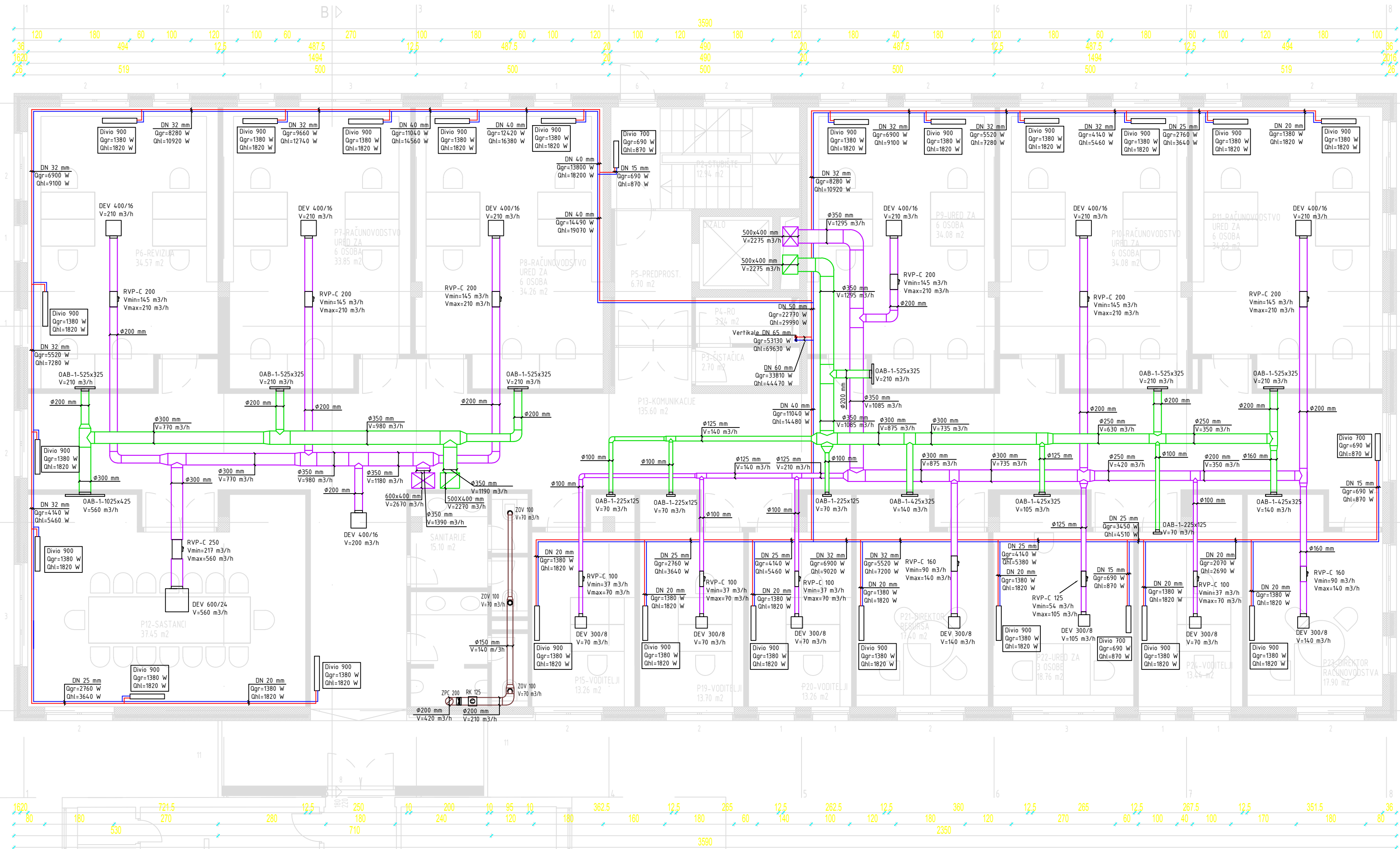
- [1] Soldo V., Novak S., Horvat I.: *Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790*, Zagreb, 2014.
- [2] Sustavi grijanja u zgradarstvu: *Metoda proračuna toplinskog opterećenja prema EN 12831*
- [3] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja: *Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama*
- [4] Dović D., Horvat I., Rodić A., Soldo V., Švaić S.: *Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama: Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode*, Zagreb, 2015.
- [5] Dović D., Ferdelji N., Horvat I., Rodić A.: *Algoritam za proračun potrebne energije za primjenu ventilacijskih i klimatizacijskih sustava kod grijanja i hlađenja prostora zgrade*
- [6] Recknagel, Šprenger, Šramek, Čeperković: *Grejanje i klimatizacija*, Vrnjačka Banja, 2014.
- [7] www.homemicro.co.uk : *Thermal Storage Vessel Sizing*
- [8] Energy consumption guide: *Energy use in offices*
- [9] www.viessman.hr
- [10] www.frigomotors.com
- [11] www.hoval.hr
- [12] Centrometal: *Solarni sustavi*
- [13] Vaillant: *Projektantske podloge – solarni sustavi*
- [14] www.vaillant.hr
- [15] www.klimaoprema.hr
- [16] www.acv.com
- [17] www.intel-trade.hr
- [18] Balen I.: *Grijanje – podloge s predavanja*, FSB, Zagreb
- [19] Balen I.: *Klimatizacija – podloge s predavanja*, FSB, Zagreb
- [20] www.systemair.com
- [21] www.product-selection.grundfos.com
- [22] www.varem.com

[23] http://www.fzoeu.hr/hr/energetska_ucinkovitost/enu_u_zgradarstvu

PRILOZI

I. Tehnička dokumentacija





LEGENDA

- dobava zraka - ventilacija
- odsas zraka - ventilacija
- otpadni zrak - ventilacija
- polaz - ventilokonvektori
- povrat - ventilokonvektori

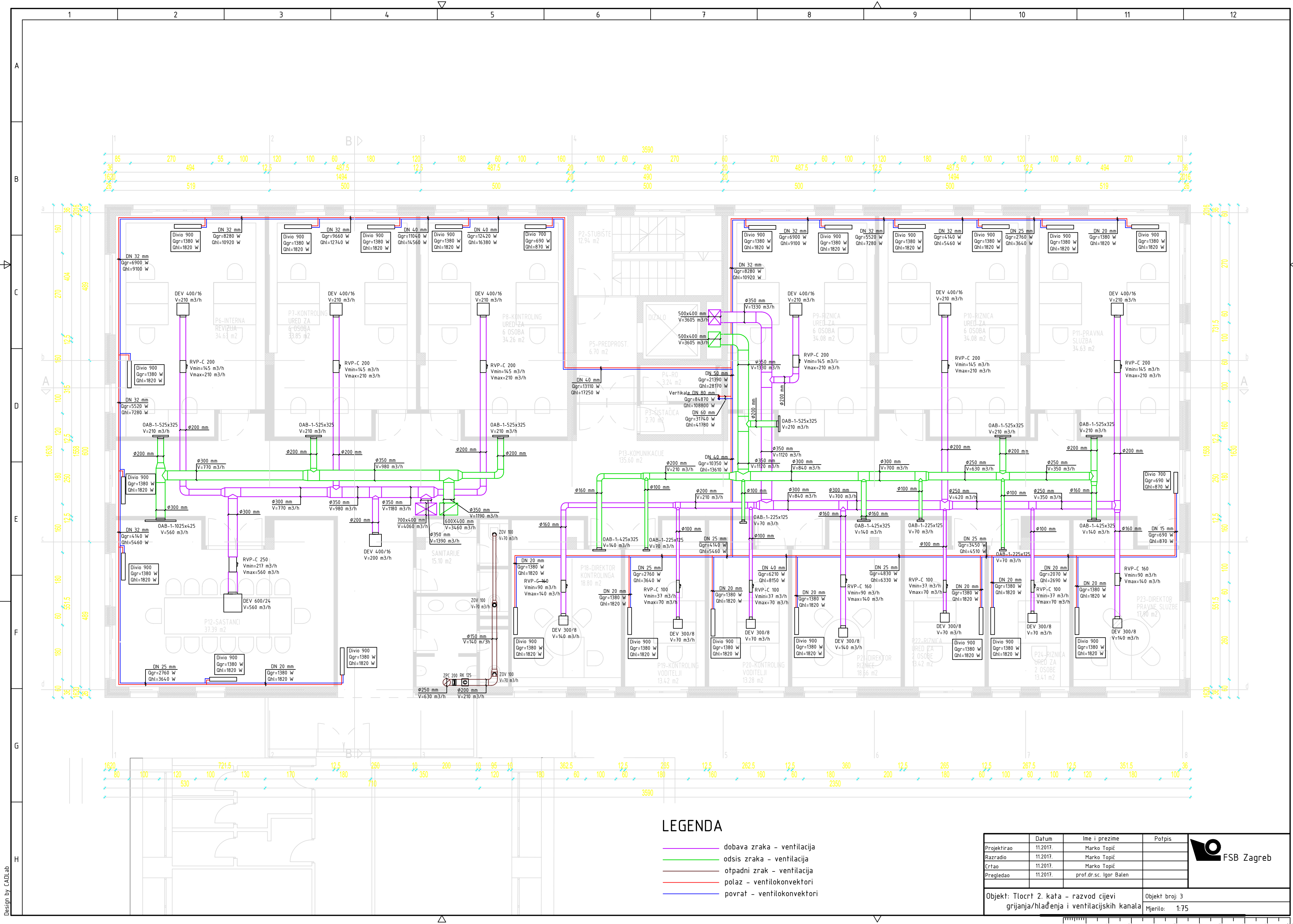
	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projekтирао	11.2017.	Marko Topić	
Razradio	11.2017.	Marko Topić	
Crtao	11.2017.	Marko Topić	
Pregledao	11.2017.	prof.dr.sc. Igor Balen	

Objekt: Tlocrt 1. kata - razvoj cijevi grijanja/hlađenja i ventilacijskih kanala	Objekt broj: 2
Mjerilo: 1:75	



0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Design by CADLab

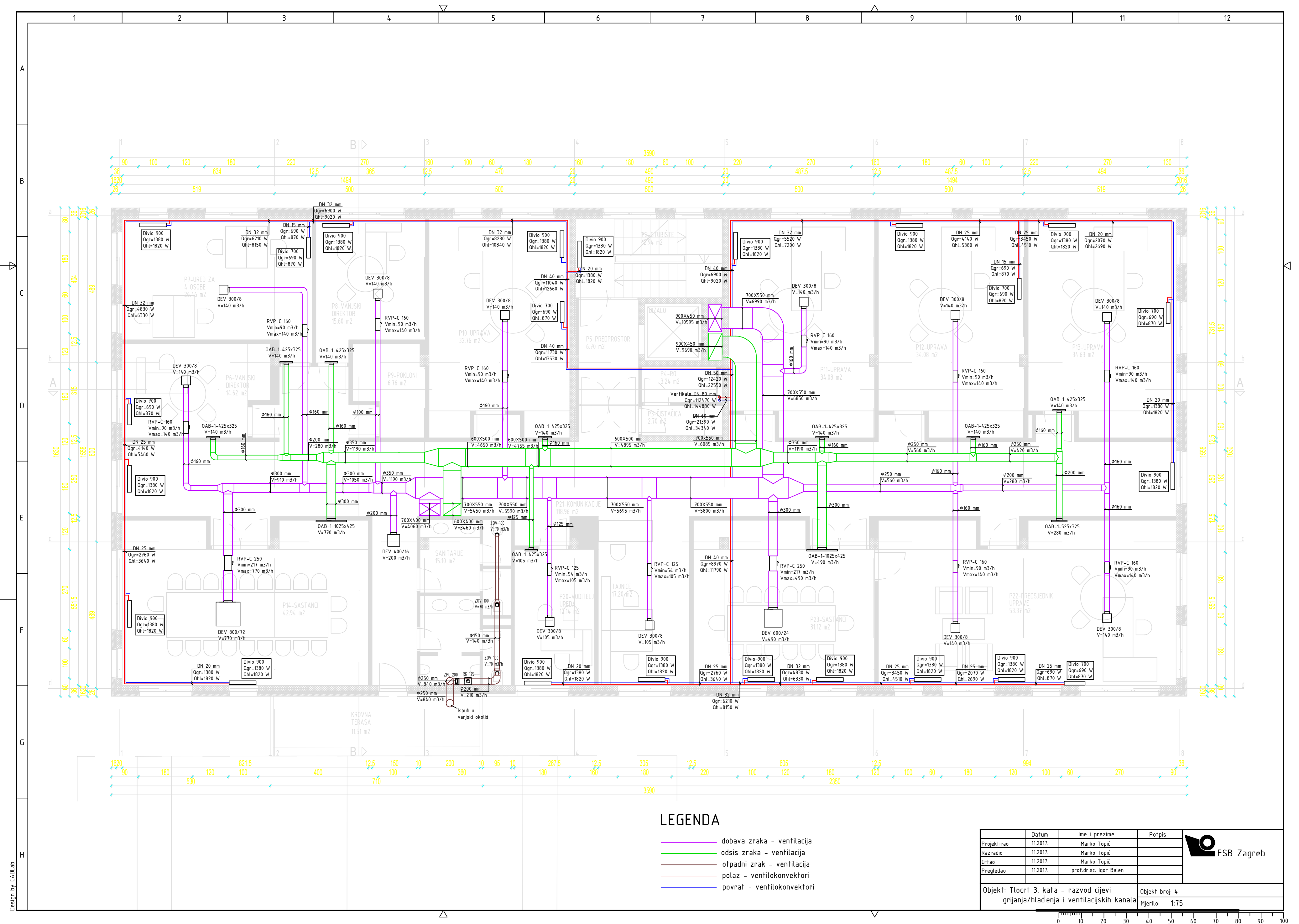


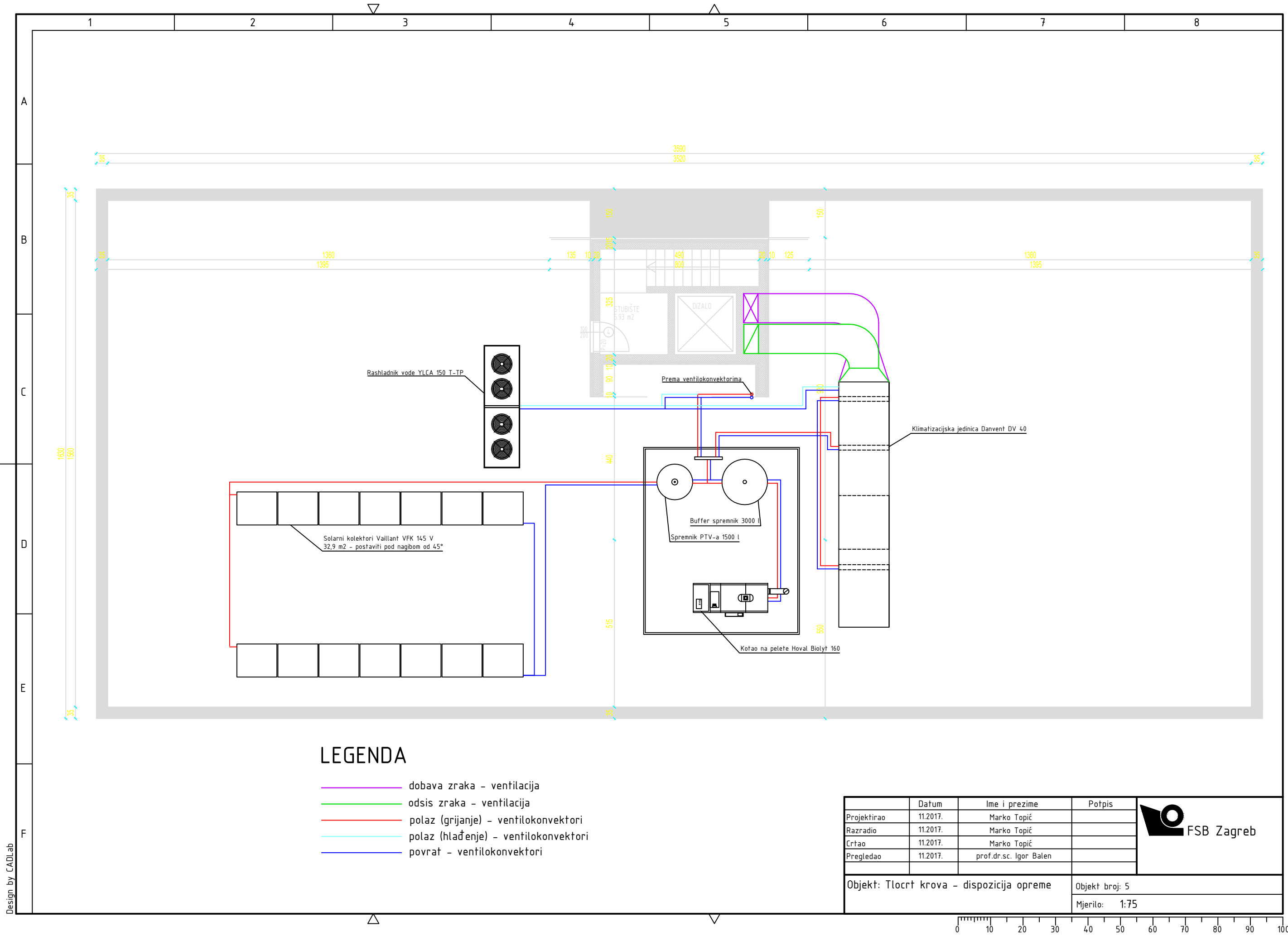
LEGENDA

- dobava zraka - ventilacija
- odsis zraka - ventilacija
- otpadni zrak - ventilacija
- polaz - ventilokonvektori
- povrat - ventilokonvektori

Datum	Ime i prezime	Potpis
Projekcija	11.2017.	Marko Topić
Razradio	11.2017.	Marko Topić
Crtao	11.2017.	Marko Topić
Pregledao	11.2017.	prof.dr.sc. Igor Balen
Objekt: Tlocrt 2. kata - razvod cijevi grijanja/hlađenja i ventilacijskih kanala		Objekt broj: 3
Mjerilo: 1:75		




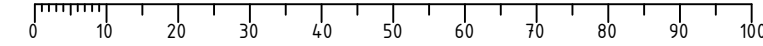


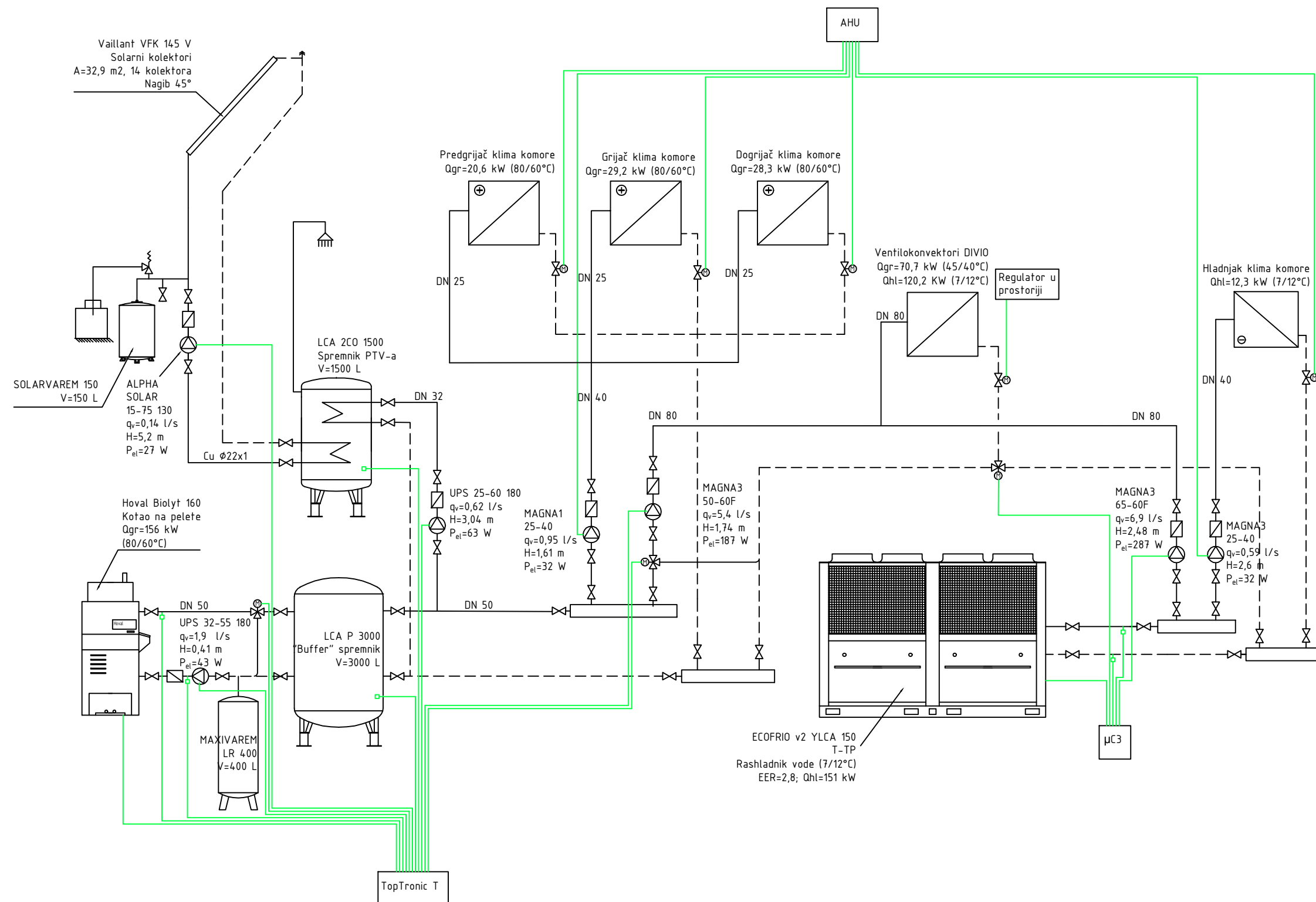


LEGENDA

- dobava zraka - ventilacija
- odsis zraka - ventilacija
- polaz (grijanje) - ventilokonvektori
- polaz (hlađenje) - ventilokonvektori
- povrat - ventilokonvektori


	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	11.2017.	Marko Topić		
Razradio	11.2017.	Marko Topić		
Crtao	11.2017.	Marko Topić		
Pregledao	11.2017.	prof.dr.sc. Igor Balen		
Objekt: Tlocrt krova – dispozicija opreme			Objekt broj: 5	
			Mjerilo: 1:75	

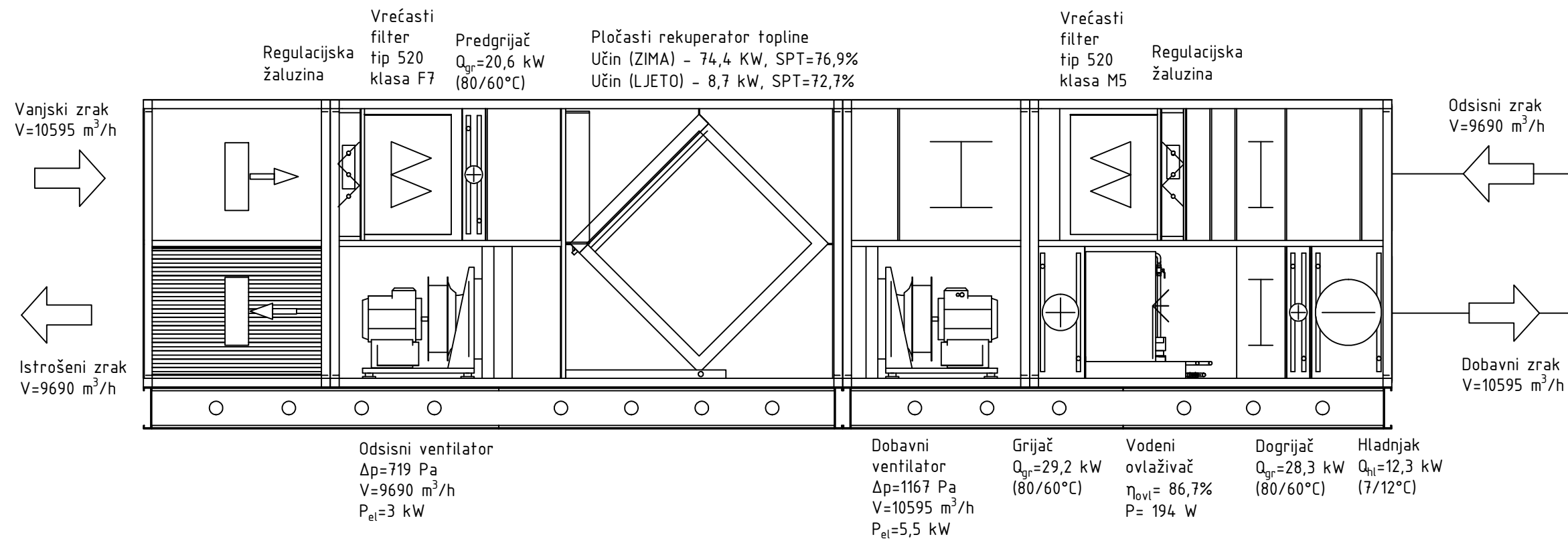




LEGENDA

- polaz grijanje/hlađenje
- - - povrat grijanje/hlađenje
— regulacija

	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	11.2017.	Marko Topić		
Razradio	11.2017.	Marko Topić		
Crtao	11.2017.	Marko Topić		
Pregledao	11.2017.	prof.dr.sc. Igor Balen		
Objekt: Shema spajanja				Objekt broj: 6
				Mjerilo:



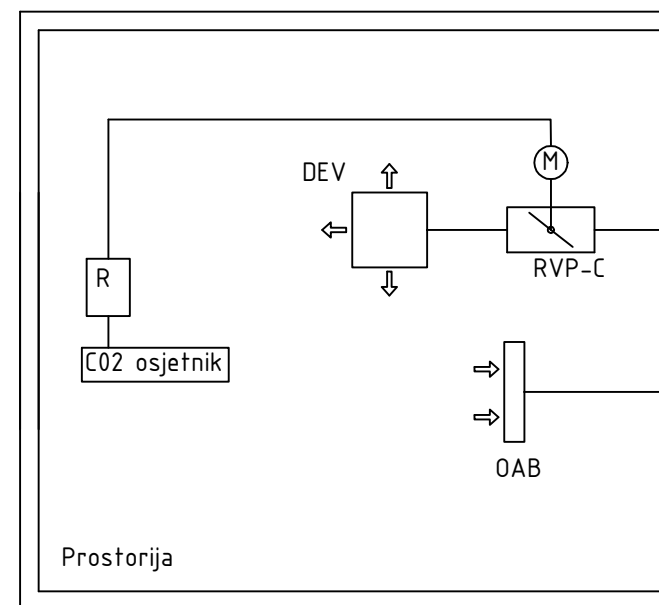
LEGENDA


DEV - distributor zraka s podesivim elementima na dobavnom kanalu

OAB - ventilacijska rešetka odsisnog kanala

RVP-C - regulator varijabilnog protoka

R - regulator protoka zraka prostorije povezan s CO2 osjetnikom



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	11.2017.	Marko Topić		
Razradio	11.2017.	Marko Topić		
Crtao	11.2017.	Marko Topić		
Pregledao	11.2017.	prof.dr.sc. Igor Balen		
Objekt: Ventilacijska shema			Objekt broj: 7	
			Mjerilo:	

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100